

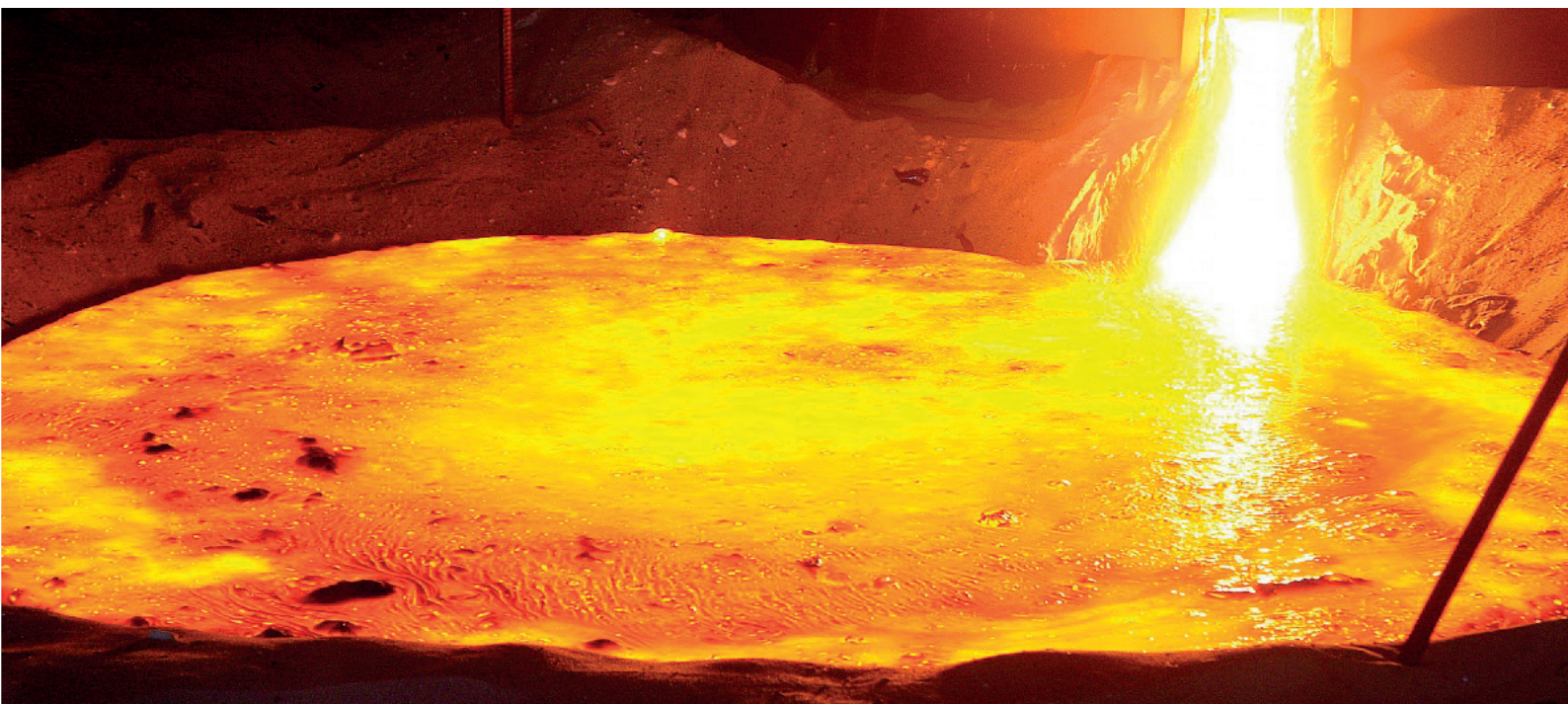
21 - 23 мая 2013 года
УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ЛИТЬЕ 2013

II МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МЕТАЛЛУРГИЯ 2013



КОСАК
ПАЛАЦ

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ЛИТЬЕ 2013

ПРОГРАММА

**21 – 24 мая 2013 ГОДА
УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ
2013**



Министерство образования и науки Украины



Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины



**Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»**



Национальная металлургическая академия Украины



Ассоциация литейщиков Украины



Белорусский национальный технический университет



Магдебургский университет им. Отто-фон-Герике



AGN University of Science and Technology A. Mickiewicza



Московский государственный технический университет



Сибирский государственный университет



Запорожская торгово-промышленная палата

УДК 621.74+669(063)

ББК 30.61+34.3л0

Л64

Литье. Металлургия. 2013: Материалы IX Международной научно-практической конференции (21-24 мая 2013 г., г. Запорожье) / Под общ. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.И. – Запорожье, ЗТПП. – 303 стр.

В сборнике представлены материалы, касающиеся актуальных проблем литейного и металлургического производства: получение, обработка и структурообразование сплавов; новые методы, прогрессивные технологии, оборудование в литейном производстве; перспективные формовочные материалы и смеси, технологические процессы изготовления форм и стержней; моделирование, компьютерные и информационные технологии в литейном производстве; специальные способы литья и литье композиционных материалов; методы контроля литейных и металлургических процессов, экономика и экология литейного производства.

Материалы предназначены для инженерно-технических работников металлургических и машиностроительных предприятий и научно-исследовательских институтов, аспирантов студентов высших учебных заведений.

Печатается по решению Ученого совета Национального технического университета «Харьковского политехнического института», протокол № 4 от 16.04.2013

За достоверность информации, изложенной в материалах конференции, несут ответственность их авторы.

Редакторы: С.В. Гнилокурченко, Т.В. Берлизева

УДК 621.74+669(063)

ББК 30.61+34.3л0

Л64

© Запорожская торгово-промышленная палата

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Марченко А.П. – д.т.н, проф. председатель конференции, проректор по научной работе Национального технического университета "ХПИ", Харьков;

Акимов О.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Национального технического университета "ХПИ", Харьков;

Белов В.Д. – д.т.н., проф., зав. каф. Национального исследовательского технологического университета Московского государственного института стали и сплавов (НИТУ МИСИС), Москва;

Бойченко Б.М. – д.т.н., проф., зав. каф. Национальной металлургической академии наук, Днепропетровск;

Бубликов В.Б. – д.т.н., ст.н. сотр., зав. отдел. Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии Украины, Киев;

Бурбелко А. – проф. AGH University of Science and Technology A. Mickiewicza, Краков;

Величко А. Г. – д.т.н., проф., академик АИН Украины, ректор Национальной металлургической академии наук, Днепропетровск;

Гнилокурченко С.В. – заведующий отделом ФТИМС НАН Украины, ученый секретарь Ассоциации литейщиков Украины, к.т.н., Киев

Гресс А.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Днепродзержинского государственного технического университета, г. Днепродзержинск

Гутько Ю.И. – д.т.н., проф., зав. каф. Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, г. Луганск;

Предраг Дашич – SaTCIP (Scientifical and Technical Center for Intellectual Property) Ltd., Vrnjcka Banja, Serbia;

Дибров И.А. – д.т.н., проф., президент Российской ассоциации литейщиков, зам. генерального директора ОАО НИИЛитМаш;

Дубоделов В.И. – академик, заведующий отделом Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии Украины, д.т.н., проф., г. Киев;

Заблоцкий В.К. – д.т.н., проф., зав. каф. Донбаской государственной машиностроительной академии, Краматорск;

Затуловский А.С. – д.т.н., ст.н. сотр., зав. отдел. Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии Украины, Киев;

Клименко С.И. – директор департамента литейного производства Министерства экономического развития и торговли Украины; Киев;

Коротченко А.Ю. – к.т.н., доц. зав. каф. Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Кукуй Д.М. – д.т.н., проф., зав. каф. Белорусского национального технического университета, председатель ассоциации литейщиков и металлургов Беларуси, Минск;

Лунев В.В. – д.т.н., проф., директор института, зав. каф. Запорожского государственного технического университета, Запорожье;

Милко Миланов – председатель союза литейщиков Болгарии, директор фирмы «Институт Литья и литейные технологии», София, Болгария;

Лысенко Т.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Одесского национального политехнического университета, Одесса;

Могилатенко В.Г. – д.т.н., проф., зав. каф. Национального технического университета Украины «К.П.И.», Киев;

Немененок Б.М. – д.т.н., проф., зав. каф. Белорусского национального технического университета, Минск;

Пономаренко О.И. – д.т.н., проф. Национальный технический университет «ХПИ», вице-президент Ассоциации литейщиков Украины, Харьков;

Пройдак Ю.С. – д.т.н., проф., проректор по научной работе Национальной металлургической академии наук, Днепропетровск;

Протопопов Е.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Сибирского государственного университета, директор института металлургии и материаловедения, действительный член РАЕН, Новокузнецк;

Рюдигер Бер – д.т.н., проф., зав. каф. литья и обработки металлов давлением Магдебургского университета им. Отто-фон-Гюрике, Магдебург;

Сабирзянов Т.Г. – д.т.н., проф., зав. каф. Кировоградского национального технического университета, г. Кировоград;

Соболь О.В. – д.т.н., проф. зав. каф. Национальный технический университет «ХПИ», Харьков;

Ткач В.В. – проф., декан Криворожского технического университета, Кривой Рог;

Товажнянский Л.Л. – д.т.н., проф., ректор Национального технического университета "ХПИ", Харьков;

Троцан А.И. – д.т.н., проф., зав. каф. Приазовского государственного технического университета, Мариуполь;

Фесенко А.Н. – к.т.н., доц., первый проректор Донбасской государственной машиностроительной академии, Краматорск

Хричиков В.Е. – д.т.н., проф., зав. каф. Национальной металлургической академии Украины, г. Днепропетровск;

Шинский О.И. – д.т.н., проф., зам. директора Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины, Президент Ассоциации литейщиков Украины, Киев;

Эффенберг Гюнтер – доктор MSI (Material Science International), г. Штудгарт.

ЛИТЪЕ 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Л. А. Адаменко, Л. Х. Иванова. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОТЛИВОК БРОНЕЙ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК	11
А. В. Арабей, И. В. Рафальский, Б. М. Немененок. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЛОМА И ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СИЛУМИНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАРЦСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ	12
Е. Г. Афтандиянц, К. Г. Лопатько ТЕРМОДИНАМИКА ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ	14
А. В. Бабилунга, Т. В. Лысенко, И. В. Дячук. ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ШЛИКЕРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ	16
Т. В. Берлизева, О. И. Пономаренко. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ЖИДКОСТЕКЛЬНОМ СВЯЗУЮЩЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИКЛОКАРБОНАТОВ НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	18
В. С. Богушевский, Я. К. Антонец. УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ ПРЕСС-ПОРШНЯ В МАШИНАХ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ	20
В. В. Бойко, Т. Линк., Е. Л. Прач, А. И. Трудоношин, К. В. Михаленков. ЕСТЕСТВЕННОЕ СТАРЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ВЫДЕЛЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ФАЗ В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ	22
Г. П. Борисов, А. М. Недужий, А. І. Семенченко, А. Г. Вернидуб ЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК7 ПО ЖОЛОБУ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТІВОК З НЕДЕНДРИТНОЮ СТРУКТУРОЮ ПЕРВИННОЇ ТВЕРДОЇ ФАЗИ	24
Г. П. Борисов, А. М. Недужий, Л. К. Шеневідько, В. Ю. Шейгам ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАСТКОВО ЗАКРИСТАЛІЗОВАНОГО АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК7ч З ВИКОРИСТАННЯМ МЕХАНІЧНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ	26
В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, В. Я. Хоружий, В. Н. Талько СКОРОСТЬ ПЛАВЛЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЙ-МАГНИЕВОЙ ЛИГАТУРЫ ФСМг7 В ЖИДКОМ ЧУГУНЕ	27
В. Б. Бубликов, Д. Н. Берчук, Ю. Д. Бачинский, В. А. Овсянников, Е. С. Болдырева ВЛИЯНИЕ МАГНИЕВЫХ ЛИГАТУР ПРИ ВНУТРИФОРМЕННОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА	29
В. Б. Бубликов, Е. П. Нестерук, Ю. Д. Бачинский, В. В. Суменкова О ПРОЦЕССЕ РАСТВОРЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ЖИДКОМ ЧУГУНЕ	31
В. Б. Бубликов ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА	32
В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, С. Н. Медведь, Н. П. Моисеева, Т. В. Зеленская ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ МЕДЬЮ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА	34
О. І. Галиахметова, Б. П. Таран. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТВА ЧАВУННИХ ПОРШНІВ	36
В.П. Головаченко, А.Г. Вернидуб НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ БОР-ТИТАНОВОЙ ЛИГАТУРЫ В ФОРМАХ ИЗ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ	37
А. Л. Голубенко, Р. Бэр, Ю. А. Свинороев, Ю. И. Гутько, Д. Н. Марченко УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ	38
В. А. Горб, Т. В. Берлизева, О. И. Пономаренко. ВЫБИВАЕМОСТЬ СМЕСЕЙ НА ЖИДКОМ СТЕКЛЕ С ДОБАВЛЕНИЕМ ВСПЕНЕНОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА	40
А. В. Гресс, Е. А. Артемова. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА В ВЛПА	42
А. В. Гресс, А. Ю. Омельчук, Я. А. Сорока. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ В КОВШАХ МАЛОЙ ВМЕСТИМОСТИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СТАЛИ	43
А. В. Гресс, С. А. Стороженко, А. И. Васик. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ	45
И. И. Гунько, С. В. Порожня, И. П. Волошинова. ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ НА ПРОЧНОСТЬ	46

Ю. И. Гутько, Ю. А. Свинороев, А. В. Третьяк. РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СВЯЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ	48
В. С. Дорошенко, К.Х. Бердыев, Ю. Н. Иванов ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРИИ ЛИТЬЯ ПО ЛЕДЯНЫМ МОДЕЛЯМ	50
В. С. Дорошенко, Е. В. Кравченко РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ	53
В. С. Дорошенко, А. С. Лысый ПРИОРИТЕТНОСТЬ ПЕРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИТЕЙНОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ОТЛИВОК	55
В. С. Дорошенко СУХАЯ ФОРМОВОЧНАЯ СМЕСЬ ОПТИМАЛЬНОГО ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ФОРМОВКИ ПО ЛЕДЯНЫМ МОДЕЛЯМ	57
Н. С. Евтушенко, Т. С. Бондаренко, О. И. Шинский СВОЙСТВА РЕГЕНЕРИРУЕМЫХ ПЕСКОВ	59
Н. И. Замятин, Т. В. Лысенко, В. А. Русева ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ КРАСОК НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ПРИ ЛИТЬЕ В ЗАМОРОЖЕННЫЕ ФОРМЫ	60
А. С. Затуловский, А. В. Косинская, В. А. Щерецкий, В. А. Лакеев АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ	62
А. С. Затуловский, В. А. Щерецкий ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	64
Э. В. Захарченко, Л. Ф. Жуков, Е. А. Сиренко ЦВЕТНАЯ МЕТАЛЛОГРАФИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ	66
Б. Г. Зеленый, А. А. Ясинский, В. Б. Бубликов, Л. А. Зеленая ВЛИЯНИЕ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, РЕЖИМОВ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА	68
А. А. Жегур, С. И. Репях. УСЛОВНАЯ ОСЫПАЕМОСТЬ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ	70
Н. А. Жижкина, Ю. И. Гутько, Рюдигер Бэр. АНАЛИЗ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ В ВАЛКОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	73
Л. Ф. Жуков, А. В. Богдан МНОГОЦВЕТОВАЯ СПЕКТРАЛЬНО-КОМПЕНСАЦИОННАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ	76
Л. Ф. Жуков, А. В. Богдан ОПТИЧЕСКИЙ НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВАКУУМНОЙ ПЛАВКИ	77
Л. Ф. Жуков, А. Л. Гончаров, В. В. Батальянец, Г. О. Антонов ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНОВ	78
Л.Ф. Жуков, А.Л. Гончаров, А. Б. Бунза, В.В. Дроздовский, В. В. Батальянец, Г. О. Антонов ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ И ОПТИЧЕСКИЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА	80
Л. Ф. Жуков, Э. В. Захарченко, Е. А. Сиренко ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНА	81
Л. Ф. Жуков, Э. В. Захарченко, Е. А. Сиренко ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ	83
Л. Ф. Жуков, Н. Ф. Зубенина ОСНОВАННЫЕ НА НЕПРЕРЫВНОМ ТЕРМОКОНТРОЛЕ РЕСУРСО - И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ ПЛАВКИ И ВЫДЕРЖКИ МЕТАЛЛА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ	85
Л.Ф. Жуков, А.Л. Корниенко ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ	86
Л.Ф. Жуков, А.Л. Корниенко ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРМОМЕТРИИ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ	89
Л.Ф. Жуков, А.Л. Корниенко МНОГОЦВЕТОВАЯ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ	91

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко, В.В. Дроздовский НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НА ВЫПУСКЕ ИЛИ СЛИВЕ ИЗ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ И АГРЕГАТОВ	93
Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко ТЕРМОКОНТРОЛЬ В СТРУКТУРЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	96
Л. Ф. Жуков, М. И. Смирнов, А. В. Богдан НЕПРЕРЫВНЫЙ СВЕТОВОДНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕ- СКИХ И НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ	98
А. Ю. Кізілова, Д. А. Дьомін. ВДОСКОНАЛЕННЯ ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ ЗІ СТАЛІ 20 ГСЛ	99
А. А. Кондрат, В. Т. Калинин. ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕНТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ЧУГУНЕ С УЧАСТИЕМ ФУЛЛЕРЕНОВ И НА- НОЧАСТИЦ TiCN	102
С.Е. Кондратюк, Е.Н. Стоянова, Ж.В. Пархомчук МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТАЛЕЙ ДИСПЕРСНО-СТРУКТУРИРОВАННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ШИХТЫ	104
Е. А. Красноухова, О. В. Акимов «РАСЧЕТ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЙ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ SOLID WORKS И LVM FLOW»	105
А.Л. Корниенко, Л.Ф. Жуков ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРМОМЕТРИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ	107
Д. М. Короленко, С. Я. Шипицын РАЗРАБОТАНЫ НОВЫЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ, НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫЕ, ЦЕМЕНТУЕ- МЫЕ СТАЛИ С ПОВЫШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ	108
К. В. Корсун, В. В. Клитной АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ С ПНЕВМАТИ- ЧЕСКИМ ПРИВОДОМ.	109
С. В. Ладохин, Т. В. Лапшук УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ УСТАНОВОК	112
М. А. Лихолет, О. И. Пономаренко ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВЫХ ИНОКУЛЯТОРОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕ- ВЫХ СПЛАВОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОТЕЗНО-ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	114
В. П. Лихошва, Е. Г. Афтандиянц, О. А. Пеликан, Л.М. Клименко МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК	115
П. Е. Лущик, И. В. Рафальский. ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕ- РИСТИКИ И ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ УСАДОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В СИЛУМИНАХ	117
Т. В. Лысенко, Н. П. Худенко, Н. И. Замятин, В. А. Русева. СПЛАЙН ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ ЗАМОРОЖЕННЫХ ФОРМ	119
Р. В. Лютый, И. М. Гурия, Д. В. Кеуш. СВЯЗУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ И СОЛЕЙ МЕТАЛЛОВ	121
В. Ф. Мазорчук. ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАЛЕГАНИЯ УСАДОЧНОЙ РАКОВИНЫ В ТЕЛЕ СЛИТКА ПРИ ИС- ПОЛЬЗОВАНИИ ПЛАВАЮЩЕЙ ПРИБЫЛЬНОЙ ВСТАВКИ	122
І. І. Максютя, Ю. Г. Квасницька, О. В. Михнян КОМПЛЕКСНОМОДИФІКОВАНА СТРИЖНЕВА СУМІШ ДЛЯ ВИЛИВКІВ З ОРІЄНТОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ	124
И. И. Максютя, А. В. Нейма ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОЛОЧКОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ФОРМ ПО УДАЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ	126
І. І. Максютя, Ю. Г. Квасницька, О. В. Михнян ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСОБЕННОСТИ МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРЫ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ	128
А.Г. Малявин О ЛЕГИРОВАНИИ ФТОРФЛОГОПИТОВОГО КАМНЕЛИТОГО МАТЕРИАЛА ДИОКСИДОМ ЦИРКО- НИЯ	130
В. А. Мамишев СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РЕОТЕРМИЧЕСКИХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГЕТЕРОЛИ- ТЪЯ	132

В. А. Мамишев, О. И. Шинский, Л. А. Соколовская РОЛЬ ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ ОТЛИВОК В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ	134
С. В. Мартынюк, В. Т. Калинин ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ РАБОЧЕГО СЛОЯ ОТЛИВОК ПУТЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ	137
М. О. Матвеева, Ю. М. Бура. ВДОСКОНАЛЕННЯ ЛИВНИКОВО-ЖИВЛЯЧОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЛИТТЯ БЮГЕЛЬНИХ СТОМАТОЛОГІЧНИХ ПРОТЕЗІВ	138
М. О. Матвеева, Б. В. Климович, В. В. Климович. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВАНАДИЕМ, ТИТАНОМ И АЗОТОМ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЧУГУНОВ	141
М. О. Матвеева, А. А. Макарова. ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЧУГУНОВ В КИСЛОЙ СРЕДЕ	142
А. П. Мельников, М. А. Садох. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	144
Е. В. Меняйло. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ЧУГУННЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ	146
Милко Миланов СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА БОЛГАРИИ	148
И. А. Осипенко, А. П. Белый. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЫЛЕВИДНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО БОКСИТА В АЛЮМОФOSФАТНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЯХ	150
Г. П. Охрименко, О. И. Пономаренко. УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕКЛЬНОЙ САМОТВЕРДЕЮЩЕЙ СМЕСИ	152
А. А. Пивоварчик, Я. С. Чайковский, О. А. Русин, А. М. Михальцов. РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ	153
К. С. Радченко, О. В. Парфентьев, Г. Е. Федоров, М. М. Ямшинский. ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХРОМОМАРГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ ЗА РАХУНОК МІКРОЛЕГУВАННЯ ТА РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ	155
К. С. Радченко, Е. А. Платонов, М. М. Ямшинский, Г. Е. Федоров. УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКОГО ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА	157
П.В. Русаков, О. И. Шинский АСУ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВКИ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЬЮТЕРА	159
П.В. Русаков ПЯТЬ ШАГОВ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ	161
Е. Н. Сапегина, О. В. Акимов. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	163
Ю. А. Свинороев, Р. Бэр, Ю.И. Гутько ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВОВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ	164
В. Ю. Селиверстов, Ю. В. Доценко, К. А. Думенко ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА НАРУЖНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА НА ГЕРМЕТИЗАЦИЮ В КОКИЛЕ ОТЛИВКИ ИЗ СТАЛИ С ШИРОКИМ ИНТЕРВАЛОМ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ	166
А. И. Семенченко, И. В. Хвостенко, А. Г. Вернидуб ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ НА СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК7Ч	168
В. А. Середенко, Е. В. Середенко ЛИТАЯ СТРУКТУРА СПЛАВА Al-Cu-Fe-Si СФОРМИРОВАННАЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	169
В.А. Середенко, С.Г. Голубчик СИСТЕМА НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ	172
В.А. Середенко, А.В. Косинская, А.С. Затуловский, Е.В. Середенко ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА АЛЮМОМАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ В ОБЛАСТИ ПЕРИТЕКТИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ПРИ ИХ НЕРАВНОВЕСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ	174
В. А. Середенко, Е В Середенко, А. А. Паренюк СТРУКТУРА АЛЮМИНИЕВОМЕДНОГО СПЛАВА С ДОБАВКАМИ Mn и Ti, ЗАКРИСТАЛЛИЗОВАННОГО В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ	176
Н. В. Слетова, С. П. Задрецкий, В. А. Розум, Б. М. Немененок, А. С. Панасюгин, Г. В. Довнар. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ СИЛУМИНОВ КАРБОНАТОМ СТРОНЦИЯ	178

Н. В. Слетова, С. П. Задруцкий, В. А. Розум, О. А. Русин, Д. Н. Бандарович. НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИЛУМИНОВ КАРБОНАТОМ СТРОНЦИЯ	180
Л. А. Соколовская О РАЦИОНАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ СЛЯБИНГОВЫХ СЛИТКОВ В ИЗЛОЖНИЦЕ	182
Л. А. Соколовская, О. И. Шинский, В. А. Мамишев ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ И КРУПНЫХ ОТЛИВОК	184
Н. П. Сопина, И. В. Козырь, А. А. Салей ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОКСИДА БАРИЯ НА ТВЕРДЕНИЕ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА	186
О. В. Соценко. КОМПЬЮТЕРНАЯ ОЦЕНКА ФОРМЫ ГРАФИТА В ВЫСОКОПРОЧНОМ, КОВКОМ И СЕРОМ ЧУГУНАХ	187
О. В. Соценко, А. В. Белич, Л. Х. Иванова, А. Ю. Калашникова. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ЗУБА КОВША ЭКСКАВАТОРА	189
О. В. Соценко, Д. С. Черданцев, С. Ю. Афонин, Д. О. Рыбаков. 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ В ПРОГРАММЕ SKETCHUP 8	191
А. Л. Становский, И. В. Прокопович, М. А. Духанина. ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИДЕНТИФИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	193
А. Л. Становский, И. В. Прокопович, К. А. Крейцер. ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В АСУ ТЕХНОЛОГИЕЙ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	195
В. В. Суменкова ТЕРМОДИНАМИКА РАФИНИРОВАНИЯ ЧУГУНА СПЛАВАМИ	197
О. Ю. Тошева, О. А. Чайковский, А. С. Кочешков. ПРО РОЛЬ ЛИВНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЛИТТИ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ	199
Л. В. Трибушевский, Б. М. Немененок, Г. А. Румянцева, С. П. Задруцкий, А. Д. Иванов. ОСОБЕННОСТИ ПЫЛЕГАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПЛАВКЕ СТРУЖКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В КОРОТКОПЛАМЕННОЙ РОТОРНОЙ ПЕЧИ	201
Т. Л. Тринева. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	203
А. И. Троцан, В. В. Каверинский, И. Л. Бродецкий. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ Ti НА СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫДЕЛЕНИЯ КАРБОНИТРИДОВ Nb И V В ОТЛИВКАХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ	205
Р. С. Федюк, А. В. Мочалов, Ю. Ю. Ильинский. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ	208
И. В. Хмельковская, Д. А. Демин. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ	209
В. Е. Хрычиков, Е. В. Меняйло, Т. В. Семенова, Ю. А. Мушенков. ГРАНИЦЫ ВЫЛИВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА В КОМБИНИРОВАННОЙ КОКИЛЬНОЙ И ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМАХ	211
И. А. Шалевская, Ю. И. Гутько, Рюдигер Бер* ПРОВЕДЕНИЕ ЭКОМОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ СЕНСОРНЫХ И ЛОКАЛЬНО-РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ	213
А. И. Шейко, В. А. Клименко. ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПОЛНИТЕЛЯ НА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ	215
В.О. Шинский. КЛАССИФИКАЦИЯ ПООПЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВДСТВА ОТЛИВОК ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ	216
С.Я.Шипицын, Ю.З.Бабаскин, Т.В.Степанова ВЛИЯНИЕ ВИДА УПРОЧНЕНИЯ АУСТЕНИТА Cr – Mn – N-СТАЛЕЙ НА ЕГО КАВИТАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ, МЕХАНИЗМ И СТЕПЕНЬ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ	218
В. А. Щерецкий, А. С. Затуловский, А. А. Щерецкий ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ КАРБИДОВ W, Mo и Zr С АЛЮМИНИЕМ	219
Г. Эффенберг, М. А. Турчанин. MSI Eureka – ИНТЕРАКТИВНАЯ БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	221

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОТЛИВОК БРОНЕЙ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК

Исследовали распределение температурных полей в теле опытных отливок броней из стали 110Г13Л, проходивших термическую обработку по двум основным режимам, принятым на заводах (№ 1 и 2, табл. 1).

Таблица 1 - Режимы термической обработки отливок броней конусных дробилок

Операции термообработки	1	2	3
Загрузка в печь при температуре, °С	600	300	200-300
Выдержка, ч	4	2	2
Нагрев до 700°С со скоростью, град/ч	-	50-70	50-60
Выдержка, ч	-	2	3-4
Нагрев до 1100°С со скоростью, град/ч	150-170	150-170	160-180
Выдержка, ч	7	4	5-6
Длительность цикла, ч	14	18	20

Исследования показали, что режим термической обработки №1 не обеспечивал равномерности нагрева отливок в наиболее опасной зоне для высокомарганцевой стали 200...700°С. В этом интервале температур сталь имеет пониженную теплопроводность (12,98...19,26 Вт/(м·К) и высокий коэффициент линейного расширения ($18,0...23,1 \cdot 10^{-6}$), что способствовало образованию в отливках внутренних напряжений и предопределяло появление в них микротрещин. Более равномерным был прогрев отливок при режиме термической обработки №2 микротрещины в приливах отливок (предусмотренных для металлографических исследований и механических испытаний), как показали металлографические исследования, отсутствовали. Выдержка отливок при температуре закалки способствовала практически полному растворению карбидов и более полному протеканию диффузионного процесса.

Для отливок из сталей марок 110Г13ФТЛ и 110Г13ХТЛ также определяли режим термической обработки. Известно, что ванадий и хром, вследствие их большого химического сродства к углероду, образуют в сталях большое количество труднорастворимых карбидов, для растворения которых необходима более

высокая температура аустенитизации или более длительная выдержка при принятой температуре закалки (1100 °C).

Лабораторными исследованиями было установлено, что если для протекания всех диффузионных процессов при температуре 1100°C для стали 110Г13Л достаточна выдержка 1 час на каждые 20 мм сечения отливки, то для сталей 110Г13ФТЛ и 110Г13ХТЛ продолжительность выдержки должна быть увеличена на 30...50%. Учитывая повышенное карбидообразование и пониженную теплопроводность сталей с ванадием и хромом в интервале температур 300...700°C, выдержка отливок при данных температурах должна быть увеличена в 1,5...2,0 раза. После указанной термической обработки (№ 3 табл. 1) высокомарганцевые стали, легированные ванадием и хромом, приобретали более высокие механические свойства и износостойкость.

Вывод

Сталь, легированная хромом или ванадием, приобретает ценные для нее качества: более высокие механические свойства и износостойкость только при изменении режима термической обработки – увеличении времени выдержки при температуре закалки 1100 °C на 30-50 %.

УДК 621.745

А. В. Арабей, И. В. Рафальский, Б. М. Немененок

Белорусский национальный технический университет, Минск

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЛОМА И ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СИЛУМИНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАРЦ-СОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время в промышленности широко применяются изделия различного назначения из сплавов на основе алюминия. Из общей номенклатуры алюминиевых сплавов сплавы системы Al-Si занимают основное место. В связи с высокой стоимостью и дефицитностью первичных алюминиевых сплавов производители изыскивают возможность экономии путем выплавки алюминий-кремниевых сплавов из вторичного металло сырья с использованием необходимых легирующих добавок, прежде всего, кристаллического кремния. Суще-

ственная часть перерабатываемого вторичного металло сырья состоит из лома и отходов сплавов на основе алюминия с повышенным содержанием магния, использование которых для выплавки заданных марок сплавов ограничено требованиями действующих стандартов по химическому составу. Расширение ресурсной базы шихтовых материалов и снижение себестоимости изготовления алюминиевых сплавов требует разработки эффективных методов металлургической переработки лома и отходов сплавов на основе алюминия, в том числе с повышенным содержанием магния, и использования недорогих и доступных кремнийсодержащих материалов взамен кристаллического кремния.

Однако до настоящего времени эффективных металлургических способов синтеза силуминов требуемого качества с использованием в шихте кварцсодержащих материалов не разработано.

В настоящей работе синтез алюминиево-кремниевых сплавов проводили с использованием алюмоматричных композиций (АМК) на основе системы Al-SiO_2 , которые получали путем введения кварцевых материалов в расплав алюминия, находящийся в гетерофазном (жидкотвердофазном) состоянии.

В работе было изучено влияние количества вводимого кварцевого песка в АМК с содержанием магния в алюминиевой матрице 1 % мас. на содержание кремния в синтетическом сплаве. В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением содержания магния в алюминиевой матрице до 1 % максимальное количество вводимого в АМК кварцевого песка может быть увеличено с 35–40 % (мас.) до 45–50 % (мас.). При этом максимальные значения степени восстановления кремния из исследованных составов АМК соответствуют содержанию кварцевого песка в АМК в количестве 30 %.

Результаты рентгенофлуоресцентной спектроскопии образцов сплавов, синтезированных из АМК, показали, что магний, первоначально содержащийся в алюминиевой матрице, в процессе протекания восстановительной реакции практически полностью взаимодействует с кварцевым песком с образованием оксида магния. Это обеспечивает возможность широко использовать низкосортные лом и отходы алюминиевых сплавов с повышенным содержанием магния для получения синтетических сплавов системы Al-Si из АМК.

На основе разработанной технологической схемы синтеза Al-Si сплавов из АМК системы Al-SiO_2 с использованием лома алюминия нелегированного I группы 1 сорта и лома алюминиевых деформируемых сплавов с высоким содержанием магния VI группы 1 сорта и формовочного кварцевого песка были

получены синтетические сплавы, соответствующие по химическому составу сплавам АК9 и АК9М2 (ГОСТ 1583-93). Исследованы механические и технологические свойства синтетических сплавов. Результаты проведенных испытаний показали, что сплавы, синтезированные из АМК, не уступают по механическим и технологическим свойствам сплавам, полученным по традиционной технологии сплавления алюминия с кристаллическим кремнием. При этом предел прочности и относительное удлинение синтетических сплавов, полученных из АМК на основе системы Al-SiO₂, выше на 6,5–20% и 47–68%, соответственно, по сравнению со сплавами, полученными по традиционной технологии сплавления алюминия с кристаллическим кремнием.

Разработана технологическая схема синтеза высококремнистых лигатур с содержанием кремния свыше 25 % мас. из АМК системы Al-SiO₂ с использованием лома сплавов на основе алюминия и формовочного кварцевого песка.

УДК. 536:669:621.762

Е. Г. Афтандиянц, К. Г. Лопатько

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

ТЕРМОДИНАМИКА ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ

Закономерности фазовых превращений в материалах определяются, в основном, двумя интегральными факторами - изменением свободной энергии системы, определяющим последовательность структурных состояний, и кинетикой процесса, коротая, характеризуется скоростью зарождения центров новых фаз и их роста.

Свободная энергия металлических материалов состоит из свободных энергий их объемов, поверхности, дефектов строения (вакансии, дислокации и дефекты упаковки), деформаций и напряжений, изменения химического состава и растворения примесных элементов, электрического заряда и магнитного поля.

Вклад поверхности в изменение свободной энергии материала определяется его формой и размером и, соответственно, увеличивается и уменьшаться

при положительном и отрицательном значении радиуса кривизны. Учитывая, что на поверхности одного нанообъекта радиус кривизны может принимать как положительное, так и отрицательное значение, даже в пределах одной наночастицы на различных ее участках возможна реализация фазовых превращений как при пониженных, так и повышенных, относительно массивного материала, температурах.

Правило фаз Гиббса связывает число степеней свободы системы с числом компонентов и внешних параметров, определяющих состояние системы и для массивных материалов формулируется следующим образом: число степеней свободы C системы, на которую влияет N независимых нехимических факторов, равно числу компонентов K минус число фаз Φ плюс число независимых переменных N :

$$C = K - \Phi + N, \quad (1).$$

При учете влияния только давления и температуры правило фаз Гиббса записывают следующим образом:

$$C = K - \Phi + 2, \quad (2).$$

Диспергирование материала приводит к увеличению энергии Гиббса и изменению растворимости в нем элементов, что аналогично влиянию температуры и давления. Правило фаз Гиббса для дисперсных систем имеет следующий вид:

$$C = K - \Phi + 3, \quad (3),$$

т.е. число степеней свободы дисперсной системы, на которую влияют давление и температура, равно числу компонентов минус число фаз плюс 3.

В процессе фазовых превращений, в зависимости от величины свободных энергий исходной и образующейся нанофаз, возможно понижение, повышение и отсутствие изменения температур фазовых равновесий нанообъектов относительно идентичных массивных материалов.

Равновесие фаз в массивном материале наблюдается при равенстве их свободных энергий и характеризуется температурой равновесия. В случае, когда при переходе из массивного в наноразмерное состояние, увеличение свободной энергии исходной нанофазы 1, полностью наследуется, образующейся в результате фазового превращения нанофазой 2 наблюдается равенство температур фазового равновесия массивного материала и нанообъектов из того же материала.

Если, при переходе массивного материала в наноразмерное состояние, увеличение свободной энергии исходной нанопазы 1 больше, чем, образующейся в результате фазового превращения, нанопазы 2, то температура фазового равновесия нанообъектов по сравнению с массивными материалами уменьшается.

В случае, когда увеличение свободной энергии образующейся в результате фазового превращения нанопазы 2 больше исходной 1, то создаются термодинамические предпосылки для увеличения температуры фазового равновесия наноразмерных фаз, относительно массивного материала.

Величина изменения свободной энергии исходной и образующейся нанопазы определяется, в основном, соотношением их поверхностных энергий, формой, размером и степенью дефектности строения нанообъектов.

УДК 621.742.4

А. В. Бабилунга, Т. В. Лысенко, И. В. Дячук

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ШЛИКЕРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

Критериями, определяющими эксплуатационную надежность точных отливок, являются качество поверхности, размерная точность, а также отсутствие газовых включений в теле отливки. Указанные параметры связаны, как правило, со взаимодействием металла с газовой атмосферой формы. В керамических малогазотворных формах на основе шликерной керамики, применяемых для изготовления сложнопрофильных отливок, основным источником газовыделения является термический, «работающий» за счет расширения газов в порах формы при их нагреве залитым расплавом.

Математическая модель источника термического происхождения, связанного с разогревом газа в объеме порового пространства керамической формы, имеет вид [1]:

$$J_n = \frac{\left[1 + \frac{1}{n+1} \left(\frac{T_n}{T_H} - 1 \right) \right] \sqrt{2n(n+1)a}}{2\sqrt{t}},$$

где J_n – мощность источника, $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ с}$; n – показатель параболы, описывающий температурное поле в форме, T_n – температура слоя формы на глубине источника, К; T_H – начальная температура, К; a – коэффициент температуропроводности материала формы, $\text{м}^2/\text{с}$; t – время, с.

Интенсивность описанного газовыделения на три порядка ниже интенсивности источников фазовой и химической природы, тем не менее, ее оказывается достаточно для образования оксидной пленки на поверхности отливки, примыкающей к форме. Кроме того, относительно невысокое давление газов и наличие оксидных пленок иногда приводит к образованию наружных газовых раковин. Особенность их возникновения заключается в том, что давления газов хватает только на преодоление внешнего и гидростатического давления в расплаве и на растягивание (но не прорыв) оксидной пленки.

Для заданной конструкции литой детали оптимальные условия формообразования могут быть обеспечены подбором требуемых параметров тепло и газопроводности, а также за счет управления газокинетическими характеристиками формы. Для построения компьютерной модели процесса взаимодействия отливки с формой исследовали послойную газопроницаемость отдельных слоев шликерной керамической формы толщиной 0,002 м, а также определяли зависимость коэффициента газопроницаемости от температуры соответствующей определенной стадии формирования отливки. Аппроксимируя полученные кривые, получали аналитические зависимости коэффициента газопроницаемости для различных слоев керамического элемента литейной формы.

На основании экспериментальных данных построена математическая модель процесса формирования и всплытия газового пузыря с контактной границы «расплав-форма». Данная модель описывает прорыв газа в расплав, исходя из того, что скорость подъема пузыря в жидкости зависит от его объема, а степень деформации – определяется плотностью, вязкостью и поверхностным натяжением жидкости, размером устья поры и свойствами самого газа.

Поверхность газового пузыря на этапах его образования и всплытия сложным образом изменяется во времени, и строгое математическое описание процесса считается невозможным. Поэтому необходимые данные получали экспериментальным путем для каждого конкретного случая идентификации модели.

В результате эксперимента установлено, что необходимым условием для обеспечения качественного формирования отливок в формах со шликерными

формообразующими элементами является распределение общей пористости рабочего слоя по возможно большему количеству однородных наиболее мелких открытых пор.

Список литературы

1. *Серебро В.С.* Основы теории газовых процессов в литейной форме. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.

УДК 621.744.3

Т. В. Берлизова, О. И. Пономаренко

Национальный Технический Университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ЖИДКОСТЕКЛЬНОМ СВЯЗУЮЩЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИКЛОКАРБОНАТОВ НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Повышение качества отливок, экономичности и эффективности их производства в значительной степени зависит от состава и свойств формовочных смесей на разных стадиях их приготовления и применения. Формовочная смесь представляет собой многокомпонентную гетерогенную систему, которая содержит кроме наполнителя и связующего разные технологические добавки, придающие смесям специфические свойства, например, повышенную текучесть, выбиваемость, непригораемость и др.

Главным критерием для выбора составов смесей служат их свойства, которые отвечают выбранному технологическому процессу приготовления форм и стержнем [1, 2].

Целью данной работы является использование связующих на основе жидкого стекла с применением циклокарбонатов на основе сырья растительного происхождения в литейном производстве.

ЦК на основе сырья растительного происхождения получают путем синтеза фурфуроливого спирта. Фурфуролиловый спирт получают из фурфурола и 5-гидроксиметилфурфурол, которые в свою очередь образуются из пентозанов и гексозанов, получаемых при кислотном гидролизе богатых пентозанами и гексо-

занами сельскохозяйственных отходов и отходов переработки древесины лиственных пород (березы, осины). Также можно использовать подсолнечную лузга, солому, хлопковую шелуху, отруби, кукурузные кочерыжки и др. [3].

Фурфурол образуется из пентозанов и полиуронидов, содержание которых в некоторых видах лиственной древесины может составлять до 30% [4], а 5-гидроксиметилфурфурол – из гексозанов. Основным направлением переработки фурфурола и 5-гидроксиметилфурфурола является гидрирование их в фурфуриловый спирт. Фурфуриловый спирт применяется в том числе для получения циклокарбонатов на основе сырья растительного происхождения, применяемых в качестве жидкого отвердителя для холоднотвердеющих смесей на жидком стекле в литейном производстве.

Для синтеза ЦК обычно используется двуокись углерода, алифатические сложные эфиры и производные фосгена. Но наиболее удобный синтез ЦК – реакция CO_2 с эпоксидной группой [5, 6]. С использованием ЦК могут быть получены различного типа уретаносодержащие полимеры, полигидроксисоединения, полиэфиры. Кроме того, ЦК используются для получения вспененных, порошковых, полиуретановых, светостойких материалов, а также с помощью циклокарбонатных групп могут быть получены отвердители для холоднотвердеющих смесей на жидком стекле.

Для исследований была выбрана холоднотвердеющая смесь на основе жидкого стекла и циклокарбонатов на основе сырья растительного происхождения, в качестве жидкого отвердителя, который получают путем синтеза фурфурилового спирта.

Для экспериментов была выбрана формовочная смесь содержащая от 4% жидкого стекла и ЦК в количестве от 0,4 до 3%. Смесь готовилась следующим образом: сначала в песок добавляли ЦК на основе сырья растительного происхождения и перемешивали в течение 2 мин., затем добавляли жидкое стекло и перемешивали 3 мин. Смесь выдерживали в 9-местной пресс-форме в течение 30 минут. Затем образцы испытывались на прочность на сжатие через 30, 60, 90, 180 мин. и через 24 ч. Кроме того, проводили испытания на осыпаемость, живучесть, газопроницаемость и остаточную прочность.

Список литературы

1. Дорошенко С. П., Авдокушин В. П., Русин К. Формовочные материалы и смеси – К.: Вища шк., 1990. – 415с.
2. Голофаев А.Н., Лагута В.И., Хинчаков Г.В. Технология литейной формы. – Луганск: Издательство ВНУ, 2001. – 264 с.
3. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств. М., 1989. 495 с.
4. Морозов Е.Ф. Производство фурфурола: Вопросы катализа и новые виды катализаторов. М.: Лесная промышленность, 1988, 198 с.
5. Hanslick R.S., Bruce W.F., Mascith A. // Org. Synth. – 1953. – P. 35-74.
6. Rokicki G., Lewandowski M. // Andrew Macromol Chem. – 1987. – # 148. – P. 53.

УДК 621.74.043.2

В. С. Богушевский, Я. К. Антонец

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», Киев

УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ ПРЕСС-ПОРШНЯ В МАШИНАХ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Скорость прессования – один из главных параметров, характеризующих технологический режим литья под давлением (ЛПД). По известной величине скорости прессования на основе полуэмпирических зависимостей можно определить такие параметры процесса, как продолжительность заполнения полости формы и скорости впуска металла в форму.

Оптимальное заполнение металлом пресс-формы обеспечивается его вводом в пресс-камеру с постоянным ускорением и последующей запрессовкой с постоянной скоростью [1]. Путь пресс-поршня можно разбить на несколько характерных участков с соответствующими законами регулирования. Первый участок 0,03...0,1 м определяет движение пресс-поршня до перекрытия заливочного окна. Для предотвращения выплеска металла из окна ускорение на этом участке должно быть небольшим – 0,1...1 м/с². После того как пресс-поршень перекроет заливочное окно, начинается второй этап запрессовки, на котором нужно как можно быстрее достигнуть заданной величины скорости пресс-поршня с большим ускорением. Скорость запрессовки – от 0,2 до 10 м/с, а ускорение – от

1 до 1200 м/с². По достижении скорости пресс-поршня заданного значения начинается третий участок запрессовки, характеризующийся постоянной скоростью поршня [2].

Управление скоростью пресс-поршня осуществляется по пройденному им эффективному пути L , м, определяемому по формуле

$$L = (n + \Delta n_1)L^*, \quad (1)$$

где n – число импульсов, поступающих с датчика хода пресс-поршня; Δn_1 – поправка; L^* – путь, пройденный щелевой линейкой между двумя последовательными импульсами, м.

Поправку в число импульсов Δn_1 определяют в зависимости от массы, температуры и вязкости металла по формуле

$$\Delta n_1 = [1 + \alpha_1 m/m_n - \alpha_2 (t - t_n) + \alpha_3 (\vartheta - \vartheta_n)]/L^*, \quad (2)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты; m, m_n – соответственно фактическое и нормируемое значение дозы металла, кг; t, t_n – соответственно фактическое и нормируемое значение температуры металла, °C; ϑ, ϑ_n – фактическое и нормируемое значение кинематической вязкости металла, м²/с.

Уставка скорости пресс-поршня рассчитывается по формуле

$$v_y = \sqrt{2a_y(L - L_1) + v_1^2}, \quad (6)$$

где a_y – уставка ускорения пресс-поршня на втором участке его хода, м/с²; v_1 – скорость пресс-поршня на первом участке, м/с.

При выполнении условия $L > L_2$ управляющее воздействие устанавливается равным максимальному значению $I_{\text{макс}}$, мА:

$$I_{\text{макс}} = k_1 v_{\text{макс}}, \quad (7)$$

где $v_{\text{макс}}$ – уставка максимальной скорости пресс-поршня, м/с.

Принципиальная схема устройства регулирования скорости пресс-поршня будет детально рассмотрена в последующих публикациях. Испытание макета устройства регулирования скорости пресс-поршня машины ЛПД позволило осуществить регулирование скорости с более высокой точностью, что дает снижение возврата отливок на 9 %, увеличение выхода годного на 0,3 % и производительности на 7,5 %.

Выводы

При движении пресс-поршня можно выделить три характерных участка: участок до прохождения заливочного окна, участок разгона и участок постоянной скорости. На оптимальное значение моментов переключения скорости пресс-поршня влияют масса отливки, ее температура и вязкость. Учет этих параметров позволяет существенно повысить технико-экономические показатели процесса ЛПД.

Дальнейшие исследования будут проводиться в направлении включения регулятора скорости в общую систему управления машиной ЛПД.

Список литературы

1. Белопухов А.К., Коротков Р.А. Расчет параметров заполнения дисперсно-турбулентным потоком // Автоматизация и прогрессивная технология литья под давлением. – М.: МДНТП, 1984. – С. 95 – 99.
2. Голод В.М., Савельев К.Д. Теория, компьютерный анализ и моделирование литейных процессов// Литейщик России. – 2011. – № 2. – С. 13 – 16.

УДК. 669.714.

В. В. Бойко, Т. Линк., Е. Л. Прач, А. И. Трудоношин, К. В. Михаленков
Технический университет, г. Берлин,
Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

ЕСТЕСТВЕННОЕ СТАРЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ВЫДЕЛЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ФАЗ В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ

Хорошие литейные свойства, коррозионная стойкость и сравнительно высокие механические характеристики обеспечили сплавам системы Al-Si лидирующие позиции при производстве алюминиевого литья. Еще в начале прошлого века было установлено, что добавка магния к силуминам обеспечивает возможность упрочнения сплавов при термической обработке. Это обеспечивает увеличение прочности практически вдвое [1] по сравнению с силумином, содержащим такое же количество кремния.

Эффект упрочнения, в случае сплавов типа АК7, достигается за счет формирования при искусственном или естественном старении выделений метастабильных β'' - и β' -фаз с последующим образованием стабильных частиц β - Mg_2Si . Однако, относительно недавно было установлено, что образование частиц β -фазы возможно уже при искусственном старении, проведенном без предварительной закалки [2]. Эти данные были подтверждены и в исследованиях авторов.

Как возможная альтернатива сплавам Al-Si-Mg последнее десятилетие вернуло интерес к системе Al-Mg-Si. Их применение для литья головок блоков цилиндров известно еще с середины 30-х годов прошлого века, но широкое промышленное применение они получили только недавно [3]. При литье под давлением механические свойства сплава с номинальным составом AlMg5Si2Mn достигают $\sigma_b =$ до 350 МПа $\delta =$ до 18%. При этом, если максимальные свойства АК7 (Al-Si-Mg) достигаются после термообработки, то для AlMg5Si2Mn указанный уровень свойств достигается в литом состоянии.

Авторами была проведена серия исследований, в которой с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии, оптической и трансмиссионной микроскопии были изучены тепловые эффекты при нагревании промышленного сплава AlMg5Si2Mn и его структура и распределение элементов в зернах твердого раствора.

Нагрев образца сплава в интервале 20-710°C приводит к появлению двух эндотермических пиков. Первый с температурой начала 596,3°C отражает плавление эвтектики (Al)+(Mg₂Si). Второй, с температурой начала 607°C показывает плавление α -Al. Других тепловых эффектов, которые могли бы быть ассоциированы с выделением или плавлением фаз не было выявлено.

При исследованиях структуры было установлено, что зерна α -твердого раствора не неоднородны и содержат большое количество частиц. Средний размер таких частиц находится на уровне 20-40 нм в длину и 2-3 нм в ширину. Толщина выделений находится на уровне 0,1 нм. Было установлено, что такие частицы формируются не сразу после литья, а через определенное «инкубационное» время. Было также выявлено несколько особенностей присущим этим частицам: (i) спектр их микрорентгеноспектрального анализа содержит одновременно Mg и Si и соотношение их интенсивностей близко к стехиометрическому составу Mg_2Si ; (ii) частицы узкой гранью присоединены к дислокациям; (iii)

количество частиц в образцах отлитых под давлением значительно выше, чем в образцах залитых в кокиль; (iv) частицы расположены только в зернах твердого раствора и отсутствуют в участках между эвтектическими ламелями.

В заключении необходимо отметить, что плотность дислокаций в сплаве после литья под давлением значительно выше, чем для случая кокильного литья. С учетом того, что выявленные частицы связаны с дислокациями, и их количество зависит от плотности дислокаций, можно сказать, что механизмом их появления является гетерогенное зарождение на дислокациях. Таким эффектом естественного старения объясняются высокие механические свойства литейного сплава AlMg5Si2Mn.

Список литературы

1. *Jeffries Z. and Archer R.S.* The science of metals. New York : McGraw-Hill Book Co., 1924. 460 p.
2. *Wang G., Yan L., Ren G., and Zhao Z.* Analyzing As-Cast Age Hardening of 356 Cast Alloy // J. of Materials Engineering and Performance. - 2011, Vol. 20(3). - №4. – P. 399 – 404
3. *Wuth M. C., Koch H., Franke A. J.* Production of steering wheel frames with an AlMg5Si2Mn alloy // Casting Plant and Technology International.–2000, Vol.16, N1.– pp.12 –24

УДК 621.74.043:669.715:620.186

Г. П. Борисов, А. М. Недужий, А. І. Семенченко, А. Г. Вернидуб

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

ЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК7 ПО ЖОЛОБУ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТІВОК З НЕДЕНДРИТНОЮ СТРУКТУРОЮ ПЕРВИННОЇ ТВЕРДОЇ ФАЗИ

Для лиття під тиском алюмінієвих сплавів в частково закристилізованому стані важливим моментом є спеціальна попередня підготовка металевої суспензії, в результаті якої в сплаві утворюється недендритна глобулярна, або близька до неї морфологія структури первинної фази. З такою структурою суспензія володіє ефектом тиксотропії і при накладанні зсувного силового навантаження дозволяє досить легко і якісно заповнювати порожнину ливарної прес-форми.

Вважається, що одним із методів одержання недендритної структури в суспензії є заливка ливарної форми алюмінієвим сплавом по металевому жолобу. Підтвердженням цьому є значна кількість наукових робіт присвячених цьому питанню. Однак, як стає зрозуміло із аналізу публікацій, ще залишаються деякі питання, які потребують уточнення та додаткових досліджень. Тому, завданням роботи було встановити можливість одержання недендритної структури первинної фази в заготовках із вітчизняного промислового алюмінієвого сплаву марки АК7 та визначити оптимальні значення технологічних параметрів при заповненні сплавом порожнини ливарної форми із застосуванням металевого жолобу.

Для проведення експериментів в якості дослідної форми було вибрано тонкостінний сталевий кокіль з середнім внутрішнім діаметром 45 мм. Після розплавлення алюмінієвого сплаву в роздавальній печі, за допомогою заливального ковша з її тигля відбирали порцію розплаву. При досягненні потрібної температури заливки, сплав починали лити на металевий жолоб, на якому були встановлені термопари типу К. Далі, після такого “захолюдження” сплаву на жолобі, метал стікав у дослідну форму, в якій відбувалося його подальше контрольоване охолодження. При досягненні температури сплаву, близької до евтектичної, здійснювали гартування металу у воді. Із одержаних дослідних виливків вирізали темплети, виготовляли шліфи та досліджували мікроструктуру сплаву.

Проведеними експериментами показана можливість одержання заготовок з недендритною структурою первинної твердої фази із досліджуваного алюмінієвого сплаву при використанні металевого жолобу для заливки ливарної форми. Встановлені оптимальні значення технологічних параметрів методу заливки сплаву в форму по жолобу (довжини жолобу і температури заливки) при яких можна одержувати алюмінієві заготовки з недендритною, навіть – глобулярною, або близькою до неї структурою первинної фази з розміром глобуля 50 – 60 мкм. Такий метод лиття алюмінієвих заготовок можна вважати досить ефективним, оскільки він не потребує для своєї реалізації складного технологічного обладнання та додаткових енергетичних ресурсів.

Г. П. Борисов, А. М. Недужий, Л. К. Шеневідько, В. Ю. Шейгам
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів
НАН України, м. Київ

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЧАСТКОВО ЗАКРИСТАЛІЗОВАНОГО АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК7ч
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕХАНІЧНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ**

Проведені дослідження структурно-механічних властивостей двофазного алюмінієвого сплаву марки АК7ч з використанням попереднього механічного перемішування. Перед проведенням досліджень алюмінієвий сплав розплавляли в плавильній печі опору з пофарбованим чавунним тиглем. Після розплавлення сплаву та очищення дзеркала металу від шлаку проводили термічний аналіз розплаву для встановлення критичних температур алюмінієвого сплаву та іншої потрібної для нього інформації. Експерименти проводили шляхом витягування тонкої сталевий пластини із досліджуваного середовища під дією постійної сили. Для цього використовували прямокутну пластину з прохідними круглими отворами по всій її площі. Реологічні дослідження проводили після попереднього механічного перемішування суспензійного металу симетричною лопатковою мішалкою з певною швидкістю обертання в сплаві. В ході таких експериментів були записані деформаційні криві досліджуваного алюмінієвого сплаву для різних навантажень і температур всередині його інтервалу кристалізації.

Після запису кривих кінетики деформацій була проведена їх графічна обробка і для кожної кривої були визначені значення абсолютних і відносних деформацій сплаву в двофазному стані. Аналізом деформаційних кривих, записаних при різних умовах проведення досліджень було встановлено, що їх характер при навантаженні сплаву є подібним і на усіх із них можна виділити: миттєву пружну деформацію ϵ_1 , деформацію пружної післядії ϵ_2 , яка протікає в часі, та пластичну (залишкову) деформацію ϵ_n . Крім цього, для кожної кривої деформації були розраховані наступні реологічні параметри сплаву: миттєвий модуль пружності G_1 , модуль пружної післядії G_2 , пластичну в'язкість η_1 , в'язкість пружної післядії η_2 , періоди релаксації θ_1 і пружної післядії θ_2 та граничне напруження зсуву P_k .

СКОРОСТЬ ПЛАВЛЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЙ-МАГНИЕВОЙ ЛИГАТУРЫ ФСМг7 В ЖИДКОМ ЧУГУНЕ

В связи с небольшим объемом выпускаемого украинскими предприятиями литья из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (около 4 % от общего выпуска литья), очевидна необходимость разработки современных высокоэффективных технологий модифицирования расплава и новых составов модификаторов для получения в высокопрочных чугунах с шаровидным графитом, а также чугунах с вермикулярным графитом и серых чугунах, оптимального структурно-фазового состояния.

К основным этапам процесса взаимодействия модификаторов с жидким металлом относятся: погружение в жидкий металл, нагрев до температуры начала плавления, физико-химическое взаимодействие компонентов модификаторов с жидким металлом в процессе плавления и растворения, распределение модифицирующих элементов в объеме расплава, образование неметаллических включений. Скорость плавления и растворения твердого модифицирующего сплава в металлическом расплаве влияет на равномерность распределения и полноту усвоения модифицирующих элементов [1].

Цель работы заключалась в исследовании скорости плавления ферросилиций-магниево-й лигатуры ФСМг7, как наиболее часто используемого модификатора в производстве высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, в зависимости от длительности выдержки образцов и температуры расплава чугуна.

Исследованная FeSiMg лигатура содержала в среднем (масс. %): магния 6,6; кальция 0,5; кремния 45,6; 1 РЗМ; остальное железо. Скорость плавления лигатуры определяли по изменению массы образца за время выдержки в расплаве чугуна, находящегося в тигле выключенной индукционной печи, при заданной температуре – 1300, 1350, 1400 и 1450 °С.

Микроструктура исходной лигатуры ФСМг7 состояла из лебоита FeSi_2 (68,49 %) и кремния (22,48 %), а основной модифицирующий компонент лигатуры магний находился в виде силицида Mg_2Si , количество которого на поверхности шлифа составляло 9,03 %. Согласно опубликованным вариантам диаграмм

состояния Fe-Si, и Mg-Si температура плавления кремния составляет 1414 °С, лебонита – 1212 °С и силицида магния – 1085 °С.

Установлено, что при погружении образцов на 5 сек в расплав чугуна с температурой 1400 °С, наиболее часто применяемой в технологиях модифицирования, массовая скорость плавления ферросилиций-магниевого лигатуры составляет примерно 3,7 г/с.

Проведенные исследования позволили определить, что с увеличением длительности выдержки образца (от 1,5 до 5 сек) наблюдается снижение скорости плавления лигатуры. Это можно объяснить тем, что вначале происходит плавление наиболее легкоплавкой фазы Mg_2Si и, количественно преобладающей в структуре, фазы $FeSi_2$ с относительно невысокой температурой плавления. Со временем количество этих фаз уменьшается вследствие перехода магния и кремния из лигатуры в чугун, а железа – из чугуна в лигатуру и образования высокожелезистого соединения $FeSi$ с более высокой температурой плавления – 1410 °С. Вследствие этого значительно возрастает температура ликвидус и резко снижается скорость плавления лигатуры.

Повышение температуры расплава способствует лучшему протеканию процесса плавления лигатуры – скорость плавления повышается с 2,37 г/с при температуре 1300 °С до почти 4,0 г/с при 1450 °С – в результате интенсификации тепломассообменных процессов.

Результаты выполненных исследований позволяют определить оптимальные условия межфазного взаимодействия при создании малоинерционных процессов позднего модифицирования эвтектических железоуглеродистых сплавов.

Список литературы

1. ЖУЧКОВ В.И., НОСКОВ А.С., ЗАВЬЯЛОВ А.Л. Растворение ферросплавов в жидком металле. – Свердловск: УРО АН СССР, 1990. – 134 С.

**В. Б. Бубликов, Д. Н. Берчук, Ю. Д. Бачинский,
В. А. Овсянников, Е. С. Болдырева**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ МАГНИЕВЫХ ЛИГАТУР ПРИ ВНУТРИФОРМЕННОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Известно, что магниевые лигатуры различных производителей, с аналогичным содержанием магния, значительно отличаются эффективностью действия на параметры структуры отливок из высокопрочного чугуна (степень сфероидизации графита, отсутствие цементита или его количество, соотношение феррита и перлита в металлической основе), которые в свою очередь определяют уровень механических свойств, обрабатываемость резанием, необходимость проведения термообработки для улучшения структуры и свойств изделий. Различная модифицирующая способность магниевых лигатур является следствием действия металлургической наследственности, обусловленной природой применяемых шихтовых материалов, методами плавки и ввода модифицирующих элементов, наличием и количеством примесных химических элементов, условиями кристаллизации и охлаждения. Отличие качественного и количественного фазового состава лигатур влияет на кинетику их растворения и степень перехода модифицирующих элементов в расплав чугуна. Магниевые лигатуры также могут значительно отличаться степенью окисленности магния и других модифицирующих элементов.

Учитывая вышеизложенное, представляется актуальным исследование влияния внутриформенного модифицирования магниевыми лигатурами близкими по содержанию магния на формирование структуры высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Изучали модифицирующую способность четырех магниевых лигатур, химический состав которых представлен в таблице, при внутриформенном модифицировании расплава. Расход лигатур составлял 1 % от массы заливаемого в литейную форму чугуна. В исследовании применяли ступенчатые пробы с размером ступеней 60×60 мм и толщиной 2,5; 5 и 10 мм. Металлографическим анализом определяли степень сфероидизации графита, плотность распреде-

ления включений шаровидного графита, количество структурно-свободного цементита, количество феррита в металлической матрице.

Таблица – Химический состав магниевых лигатур

Магниевая лигатура	Массовая доля элементов, %				
	Mg	Ca	PЗМ	Si	Fe
Лигатура 1	6,9	1,5	0,6	45,0	ост.
Лигатура 2	7,0	0,5	0,5	53,0	ост.
Лигатура 3	5,8	1,0	1,0	45,1	ост.
Лигатура 4	7,7	6,7	1,2	52,1	ост.

Сравнительное исследование 4-х магниевых лигатур показало, что исследованные лигатуры, обеспечивают высокую степень сфероидизации включений графита (более 90 %), но отличаются влиянием на графитизацию структуры тонкостенных отливок. Экспериментально установлено, что высокая степень инокуляции и графитизации обеспечиваются при модифицировании лигатурами 1 и 2 - структура ступеней толщиной 2,5 мм состоит из шаровидного графита с плотностью распределения 1350-2000 шт/мм² и перлитно-ферритной металлической основы с количеством перлита от 50 до 80 %, структурно-свободный цементит отсутствует. При модифицировании лигатурой 3 в структуре ступени толщиной 2,5 мм образуется 1-2% цементита, а при модифицировании лигатурой 4 цементит образуется в структуре ступеней толщиной 2,5; 5; 10 мм в количестве 30; 10; 5% соответственно. Низкая графитизирующая способность лигатуры 4 объясняется образованием вязкого тугоплавкого шлака, состоящего преимущественно из окислов химических элементов (SiO₂, CaO, MgO, FeO+Fe₂O₃), который покрывает поверхность частиц и тормозит реакционное взаимодействие, что резко снижает скорость растворения и эффективность графитизирующего модифицирования.

Определены параметры процесса внутриформенного модифицирования для получения отливок с минимальной толщиной стенки 2,5 мм, которые обеспечивают формирование измельченной литой структуры, состоящей из включений шаровидного графита с плотностью распределения более 1800 шт/мм², металлической основы из тонкопластинчатого перлита (Пд 0,3) и мелкозернистого феррита (7...9 балл), что способствует улучшению качества и повышению механических свойств литых изделий.

О ПРОЦЕССЕ РАСТВОРЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ЖИДКОМ ЧУГУНЕ

Ферросилиций широко применяется в качестве основы для многих графитизирующих модификаторов, а также является основой при производстве магниевых лигатур для сфероидизирующего модифицирования. Механизм и кинетика растворения ферросилиция в чугуне в значительной мере определяет эффективность модифицирования. Модифицированию чугуна предшествует процесс химического растворения, осложненный нагревом, фазовым переходом (плавлением) и образованием на поверхности частиц модификатора «мешающих фаз» - замороженной корочки чугуна или шлаковой оболочки, тормозящих растворение твердых частиц в расплаве чугуна. Непосредственное растворение обусловлено условиями тепломассообмена и химического взаимодействия компонентов лигатуры с компонентами чугуна.

Было проведено экспериментальное определение величины скорости растворения образцов твердого ферросилиция марки ФС75 в зависимости от температуры жидкого чугуна и времени выдержки в расплаве с учетом массы и геометрии образцов ферросплава. Установлено, что кинетика растворения ферросилиция ФС75 определяется параллельным действием следующих факторов:

- встречной диффузией железа и углерода из жидкого чугуна в ферросилиций и кремния из ферросилиция в жидкий чугун;
- фазовыми превращениями в ферросилиции и соответствующими изменениями температуры плавления, обусловленными диффузионным массопереносом химических элементов;
- фазовым переходом (плавлением) отдельных фрагментов ферросилиция и последующим жидкофазным растворением расплавившегося ферросилиция в чугуне.

Микроструктура исходного ферросилиция состояла из кремния и лебоита FeSi_2 . Установлено, что в процессе взаимодействия ферросилиция с жидким чугуном диффузия углерода наблюдается во всем объеме образца, а железа, в основном, в его поверхностном слое. В плавящемся слое на поверхности об-

разца интенсивно протекают процессы переноса кремния из ферросилиция в чугун и железа – из чугуна в ферросилиций. В результате этого уменьшается количество фазы кремния, которая, обогащаясь железом, переходит в лебоит. Таким образом, в начальном периоде плавления в поверхностном слое образца большая часть тугоплавкой фазы кремния с температурой плавления 1410 °С в результате массообменных процессов переходит в легкоплавкий лебоит с температурой плавления 1207 °С, что способствует повышению скорости плавления ферросилиция в жидком чугуне. В дальнейшем, в результате идущих параллельно с плавлением диффузионных процессов обогащения лебоита железом и перехода из него кремния в чугун, из лебоита образуется тугоплавкая фаза FeSi (ϵ) с температурой плавления 1410 °С и плавление ферросилиция в жидком чугуне замедляется, резко уменьшается интенсивность массообмена и сплав фактически перестаёт выполнять функцию модификатора. Таким образом, изменяющийся во времени в результате массообменных процессов фазовый состав плавящегося слоя в значительной мере изменяет температуру и скорость плавления ферросилиция.

В целом экспериментально установлено, что с повышением температуры жидкого чугуна с 1350 °С до 1450 °С массовая скорость растворения ферросилиция увеличивается в 2 раза. Но с повышением температуры чугуна снижается эффективность модифицирования, что следует учитывать при разработке технологий модифицирующей обработки, применяя легкоплавкие модификаторы и создавая условия для их быстрого растворения.

УДК 669.131.7:593.216

В. Б. Бубликов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

К прогрессивным литейным материалам современного машиностроения относится высокопрочный чугун с шаровидным графитом, применение которого позволяет снизить затраты на получение готовых изделий и повысить их потребительские свойства. Для получения чугуна с шаровидным графитом расплав

модифицируют магнием или магниевыми лигатурами. В результате сфероидизирующего модифицирования магнием кристаллизация эвтектики «аустенит-шаровидный графит» происходит в условиях значительного ($15-30^{\circ}\text{C}$) переохлаждения расплава чугуна по отношению к температуре кристаллизации эвтектики «аустенит-пластинчатый графит». При столь высоком переохлаждении велика вероятность перехода к метастабильному механизму кристаллизации с образованием в структуре цементитной фазы, которая негативно влияет на усадку, пластичность, ударную вязкость, обрабатываемость резанием и др. свойства отливок из высокопрочного чугуна. Для разложения цементитной фазы отливки подвергают энергоёмкому графитизирующему отжигу. С целью предотвращения образования в структуре отливок из высокопрочного чугуна первичного и эвтектического цементита проводится графитизирующее модифицирование.

В связи с более высокой склонностью высокопрочного чугуна к образованию цементитной фазы (отбела) требуется и более эффективное по сравнению с серым чугуном графитизирующее модифицирование. Эффект ковшового графитизирующего модифицирования быстро исчезает. Считается, что через 5 минут эффект модифицирования ослабевает в 2 раза.

Повышению эффективности модифицирования способствует сокращение временного интервала между модифицирующей обработкой и кристаллизацией, а также ускоренное затвердевание модифицированного расплава. Наиболее целесообразно модифицирующую обработку расплава проводить в процессе заливки литейных форм. Как альтернатива ковшовым разработаны более эффективные поздние методы модифицирования в струе, в заливочной чаше, в литниковой системе.

В настоящее время создание более эффективных модификаторов и методов модифицирующей обработки расплава в предкристаллизационном периоде является главным направлением усовершенствования технологий высокопрочного чугуна, повышения свойств отливок и снижения производственных затрат. Эффективное модифицирование улучшает технико-экономические показатели качества литых изделий.

Для отливок с толщиной стенок $5...15$ мм, что соответствует скоростям охлаждения $V_{охл} = 4,3...0,87^{\circ}\text{C}/\text{с}$, экспериментально установлено, что по сравнению с графитизирующим ковшовым модифицированием в результате графитизирующего внутриформенного модифицирования инокулирующее действие

ферросилиция ФС75 по увеличению числа центров кристаллизации шаровидного графита повышается более чем в 2 раза, а FeSiBa в 2,8 раза.

Применение модификаторов со щелочноземельными элементами для графитизирующего внутриформенного модифицирования позволяет значительно увеличить количество включений шаровидного графита в структуре и повысить степень их сфероидизации с 85-87% до 90-95%. Малорастворимые в железе щелочноземельные элементы эффективно очищают границы зёрен, что способствует интенсификации диффузионных процессов при распаде аустенита и повышению пластических свойств высокопрочного чугуна. Более чем трехкратное увеличение числа центров кристаллизации шаровидного графита способствует предотвращению образования структурно-свободного цементита, диспергирует структуру, уменьшает межкристаллитную ликвацию, сокращает пути диффузии углерода из аустенита к графитным включениям, что увеличивает степень ферритизации металлической основы и повышает показатели пластичности и ударной вязкости.

Результаты исследований позволяют рекомендовать после ковшового сфероидизирующего модифицирования магниевой лигатурой обязательно проводить графитизирующее внутриформенное модифицирование, обеспечивающее повышение большинства технико-экономических показателей качества отливок из высокопрочного чугуна.

УДК 669.131.7

**В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, С. Н. Медведь, Н. П. Моисеева,
Т. В. Зеленская**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ МЕДЬЮ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Влияние легирования медью на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна исследовали в условиях внутриформенного и ковшового методов модифицирования на образцах, изготовленных из стандартных клиновидных проб толщиной у основания 25 мм. Химический состав клиновидных проб из нелегированного высокопрочного чугуна находился в следующих пре-

делах (масс. %): 3,35...3,65 C; 2,65...2,95 Si; 0,25...0,28 Mn; 0,038...0,049 Mg; 0,015...0,018 S; 0,04...0,045 P. Содержание меди в легированном высокопрочном чугуна находилось в пределах от 1,38 до 1,55 % (расчетное 1,5 %).

Микроструктура отливок из нелегированного высокопрочного чугуна, модифицированного в литейной форме, состояла из шаровидного графита диаметром 40-45 мкм с плотностью распределения в структуре 370 шт/мм² и преимущественно ферритной металлической основы (90-96 % феррита, остальное перлит). В литом состоянии базовый нелегированный высокопрочный чугун имел следующие показатели механических свойств: временное сопротивление разрыву (σ_B) – 520 МПа; условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) – 360 МПа; твердость (НВ) – 1700 МПа; относительное удлинение (δ) – 14 %; ударная вязкость (КС) – 90 Дж/см².

В результате легирования 1,5 % Cu микроструктура изменилась следующим образом: диаметр включений шаровидного графита уменьшился до 30-35 мкм, плотность распределения шаровидного графита снизилась до 340 шт/мм², количество перлита в металлической основе увеличилось до 45-50 %, количество феррита уменьшилось до 50-55 %. Таким образом, установлено, что влияние 1,5 % меди на перлитизацию металлической основы стандартных клиновидных проб из модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна проявляется в два раза слабее, чем в высокопрочном чугуна, модифицированном в ковше. Вследствие этого легированный 1,5 % Cu высокопрочный чугун, полученный модифицированием в литейной форме, характеризуется значительно меньшим временным сопротивлением разрыву (σ_B = 640 МПа) по сравнению с модифицированным в ковше (σ_B = 900 МПа) при практически одинаковой величине относительного удлинения (δ = 4 %) и ударной вязкости (КС = 15 Дж/см²).

Для получения ферритной металлической основы проводили ступенчатый графитизирующий отжиг клиновидной пробы по следующему режиму: нагрев в печи до 880 °С, выдержка два часа, охлаждение с печью до 750 °С, выдержка один час, охлаждение с печью до 650 °С, выдержка один час, охлаждение на воздухе. В результате отжига количество феррита в легированном медью высокопрочном чугуна увеличилось до 95 %, то есть до уровня, характерного для базового нелегированного высокопрочного чугуна в литом состоянии. По сравнению с литым состоянием высокопрочного чугуна содержащего 1,5 % Cu, после графитизирующего отжига наблюдается уменьшение временного сопро-

тивления разрыву ($\sigma_{\text{в}} = 550 \text{ МПа}$), снижается твердость и многократно повышаются относительное удлинение ($\delta = 22 \%$) и ударная вязкость ($KC = 105 \text{ Дж/см}^2$). В целом, легированный медью ферритный высокопрочный чугун, полученный модифицированием в литейной форме, отличается от ферритного высокопрочного чугуна, полученного ковшовым модифицированием меньшей прочностью и более высокими показателями относительного удлинения и ударной вязкости.

Также изучено влияние нормализации и изотермической заковки на механические свойства легированного 1,5 % Си высокопрочного чугуна, полученного модифицированием в литейной форме. Нормализацию проводили по режиму: нагрев в печи до $880 \text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержка два часа, охлаждение на воздухе. Условия изотермической заковки были следующими: нагрев в печи до $840 \text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержка два часа, заковка в селитровой ванне с температурой $370 \text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержка один час, охлаждение в воде.

В результате нормализации количество перлита в металлической основе повысилось до 96 %, что обеспечило получение высоких прочностных свойств: $\sigma_{\text{в}} = 800 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 600 \text{ МПа}$ при $\delta = 2,6 \%$ и $KC = 11 \text{ Дж/см}^2$. В результате изотермической заковки получена бейнито-ферритная металлическая основа с 20 % феррита и, по сравнению с нормализацией, более высокие показатели механических свойств $\sigma_{\text{в}} = 880 \text{ МПа}$, $\delta = 7,5 \%$, $KC = 24 \text{ Дж/см}^2$.

УДК 621.75

О. І. Галіахметова, Б. П. Таран

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТВА ЧАВУННИХ ПОРШНІВ

В даний час як джерело механічної енергії в різних галузях народного господарства і в техніці використовуються двигуни самих різних типів і схем. Серед всього різноманіття двигунів незамінних не існує. Але найбільше і, можна сказати, пануючого поширення набули поршневі двигуни внутрішнього згорання (ДВС). Перевага до поршневих двигунів визначається їх високою економічністю. По цій якості вони відносяться до кращих серед всіх відомих. Хороша економічність обумовлена високими мірами стискування і високими температу-

рами робочого тіла цих машин. Але це зовсім не означає, що вичерпані всі резерви для їх поліпшення.

Експериментальні методи дослідження напружено-деформованого стану поршня зводяться до визначення впливу термічної дії, тиску газів, динамічних сил і реакцій на напружено-деформованого стану поршня. Метою проведення експериментальних досліджень є здобуття достовірних даних, спираючись на яких, можна оцінити коректність і достовірність розрахунків, а також уточнити розрахункову модель поршня і скоректувати граничні умови.

Таким чином, в ході експериментальних досліджень проводилася ідентифікація граничних умов, використовуваних в розрахунку по методу кінцевих елементів при математичному моделюванні напружений-деформованого стану поршня.

Список літератури

1. *Костин А. К.* Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания / А.К. Костин, В.В. Ларионов, Л.И. Михайлов и др.; справочное пособие. – Л.: Машиностроение. 1079. – 222 с.

УДК 621.74: 669.715: 673.8

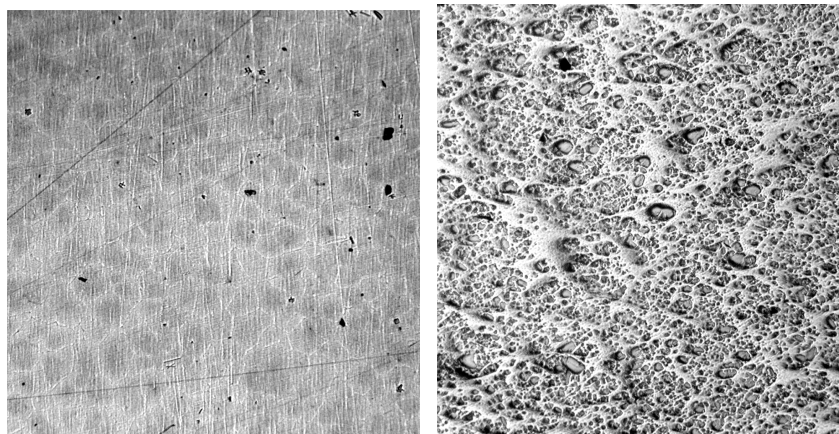
В. П. Головаченко, А. Г. Вернидуб

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ БОР-ТИТАНОВОЙ ЛИГАТУРЫ В ФОРМАХ ИЗ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ

Новые подходы к формированию модифицирующих фаз TiB_2 и $TiAl_3$ в алюминиевой лигатуре Al_5TiB удалось реализовать благодаря использованию супертонкостенных форм из алюминиевой фольги. Низкие скорости охлаждения лигатуры в формах из фольги изменили характер кристаллизации, что привело к формированию ячеистой структуры интерметаллидов, рис. 1, а. В процессе исследований установлено, что максимальной модифицирующей активностью по отношению к $\alpha-Al$ фазе литых образцов из сплава АК7 обладает ли-

гатура с ячеистой структурой. При этом достигнуты следующие показатели механических свойств из вырезанных образцов после термоупрочняющей обработки (Т5): $\sigma_b = 225$ МПа, $\delta = 7\%$, что на 20 и 2,7% соответственно выше показателей сплава модифицированного стандартной прутковой лигатурой. Работы по данной тематике будут продолжены.



а

б

а – структура полученная по новой технологии.

б – исходная структура стандартного прутка Ø9,5 мм;

Рисунок – Микроструктура лигатуры Al5TiB

УДК 621.742

А. Л. Голубенко, Бэр Р., Ю. А. Свинооров, Ю. И. Гутько, Д. Н. Марченко
Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Луганск

Магдебургский университет имени Отто – фон – Гюрике, Магдебург

УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

Анализ научной литературы, посвященной компьютерному моделированию и проектированию литейных процессов с применением современных программных продуктов, показывает, что разработчики подходят формально к учету экологических последствий принимаемых проектных решений. Например, выбор составов стержневых и формовочных смесей осуществляется по справочной литературе, как правило, без учета экологических аспектов их применения, хотя именно эти компоненты технологического процесса ответственны за продуцирование токсинов относящихся к первому и второму классам опасно-

сти. Такое положение дел приводит к тому, что вновь разработанный технологический процесс приходится корректировать на стадии его внедрения или в процессе промышленного использования, когда выясняется степень экологической угрозы его применения.

Как правило, при проектировании технологического процесса производства отливки реализуется схема процесса, приведенная на рисунке 1, она решает чисто технологические задачи, что приводит к упомянутым негативным последствиям.

Предлагается, для предотвращения подобных ситуаций на стадии создания технологии внести в алгоритм процесса проектирования дополнительный программный модуль, обеспечивающий экологическую экспертизу принимаемых проектных решений.

Известно, что наиболее экологически опасными элементами технологических процессов литья, являются связующие материалы, генерирующие на этапах осуществления технологического процесса высокотоксичные вещества, таких как бензапирен, формальдегид, фенол, акролеин и др. По этой причине целесообразно создать и применять шкалу предпочтений связующих материалов (рис. 2), в зависимости от степени их экологической опасности. В качестве критерия, характеризующего такую опасность удобно взять показатель условной токсичности.

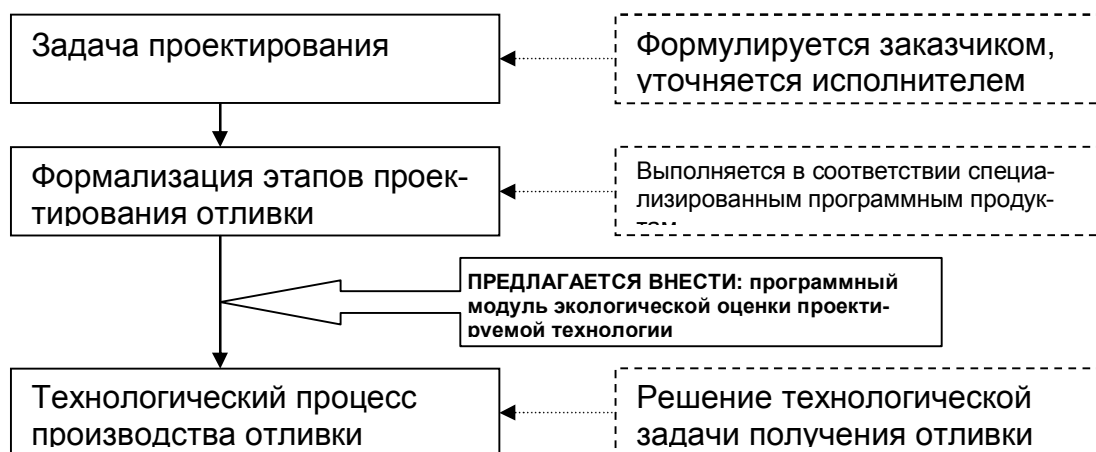


Рис. 1. Укрупненный алгоритм разработки процесса проектирования технологии изготовления отливки.

Условием возможного применения связующего материала в проектируемом технологическом процессе является обеспечение требуемого качества получения отливки.

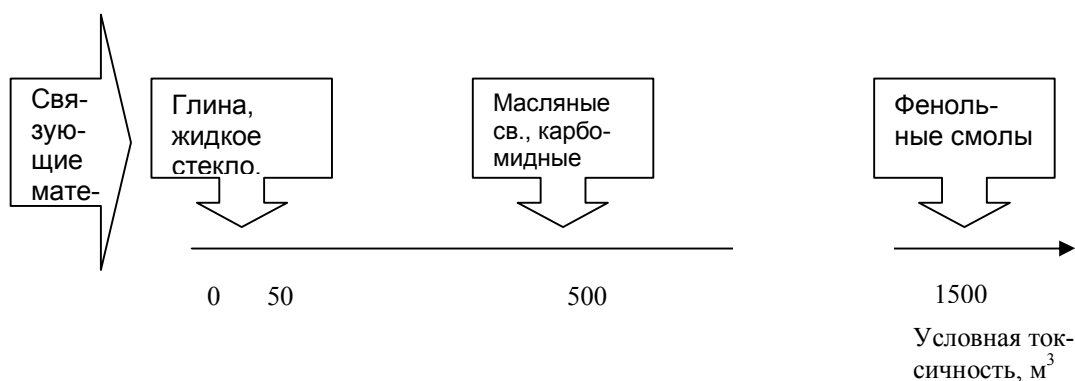


Рис. 2. Схема шкалы экологических предпочтений связующих материалов.

Выводы. Применение в алгоритмах проектирования литейной технологии программного модуля экологической оценки принимаемых проектных решений позволит снизить или предотвратить возникающие, в следствие этого, негативные экологические последствия в литейном производстве.

УДК 621. 744.3

В. А. Горб, Т. В. Берлизова, О. И. Пономаренко.

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

ВЫБИВАЕМОСТЬ СМЕСЕЙ НА ЖИДКОМ СТЕКЛЕ С ДОБАВЛЕНИЕМ ВСПЕНОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА.

Одним из основных показателей жидкостекольных смесей является показатель выбиваемости, который характеризует степень трудности удаления стержней из остывшей отливки.

Целью данного исследования является изучение параметра выбиваемости смесей на жидком стекле с использованием добавок отходов пенополистирола, растворенного в живичном скипидаре.

В настоящее время пенополистирол нашел широкое применение как материал для упаковки продуктов питания и бытовой электронной техники, полу-

чения моделей в литейном производстве и т. д. Отходы пенополистирола практически не используют в качестве вторичного сырья. Применение связующих материалов для их использования в литейном производстве на основе отходов пенополистирола позволит совершенствовать процессы литья и улучшить экологическую обстановку.

Для исследований был проведен активный лабораторный эксперимент, который представляет собой полуреплику 2^{3-1} полного факторного эксперимента для двух переменных.

Исследовались составы формовочных смесей, в которых варьировалось количество жидкого стекла и раствора пенополистирола в живичном скипидаре, исследовалась прочность формовочных смесей на сжатие.

Независимыми переменными были приняты: x_1 – количество жидкого стекла (ЖС) и x_2 – количество отходов пенополистирола растворенного в живичном скипидаре (ОПП). При этом учитывали парное взаимодействие исходных компонентов – x_3 . Исследовалась формовочная смесь, содержащая 4 % ЖС и 3 % ОПП на основном уровне. Интервал варьирования между основным, верхним и нижним уровнем составил по 1% для ЖС и ОПП.

В результате обработки эксперимента были получены следующие уравнения регрессии:

$$\sigma_1 = 0,37 + 0,085x_1 - 0,105x_2 - 0,07x_3;$$

$$\sigma_2 = 8,96 + 0,84x_1 + 0,31x_2 + 0,09x_3;$$

где σ_1 – прочность на сжатие прокаленных образцов при $t = 800^\circ \text{C}$;

σ_2 – прочность на сжатие высушенных образцов при $t = 70^\circ \text{C}$.

Проверка полученных математических моделей с помощью критерия Стьюдента и критерия Фишера показало ее полное количественное соответствие используемым экспериментальным данным.

Анализ математических зависимостей показал:

- 1) что с увеличением содержания жидкого стекла прочность смеси в сухом и прокаленном состоянии возрастает;
- 2) увеличение добавки ОПП в сухом состоянии увеличивает прочность, а в прокаленном состоянии уменьшает, тем самым улучшает выбиваемость смесей, по сравнению со смесями только на жидком стекле.

Список литературы

1. Полистирол. Физико-химические основы получения и переработки. М., «Химия», 1975. – 268 с.
2. Павлов В. А. Пенополистирол. М., «Химия», 1973. – 240 с.
3. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
4. С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек. Формовочные материалы и смеси – К.: Вища шк., 1990; Прага : СНТЛ, 1990. – 415 с.
5. Черников В. А. Полистирол в качестве связующего. «Литейное производство», 1971, с. 11-12
6. Морозов И. В., Чернявская М. Г., Казаков О. Г. Исследование поверхностно – активных веществ для улучшения свойств жидкого стекла. // Литейное производство. – 1986. – № 3. – с. 17 – 18.

УДК 621.771.06

А. В. Гресс, Е. А. Артемова

Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА В ВЛПА

Одним из наиболее перспективных направлений развития металлургии, в том числе в Украине, является получение металлических полос в валковых литейно-прокатных агрегатах (ВЛПА). Сложность использования ВЛПА заключается в высоких требованиях к технологическому оборудованию и скоротечности протекающих процессов кристаллизации металла. Поэтому для детального изучения влияния условий разливки металлических полос на качественные показатели продукции зачастую прибегают к математическому моделированию.

При математическом моделировании кристаллизации металла в ВЛПА зачастую предполагают, что скорость изменения толщины затвердевшего металла подчиняется закону квадратного корня, коэффициент затвердевания в котором находится в достаточно широком диапазоне и определяется, как правило, опытным путем. В то же время, имеются данные, свидетельствующие о

наличии зависимости толщины кристаллизующейся корки от времени процесса кристаллизации в некоторой степенной зависимости. Однако и в этом случае вопрос о значении константы затвердевания остается открытым.

Решение поставленной задачи об изучении динамики роста корки металлических полос в процессе валковой разливки возможно посредством использования более точных методов прикладной математики, в частности, метода Дюзинбера, предполагающего учет движения границы твердой оболочки посредством разностной аппроксимации со вторым порядком точности дифференциального уравнения теплопроводности. Причем такой учет осуществляется косвенно посредством расчета «избыточной» температуры.

Разработанная нами численная модель позволила определить зависимость скорости кристаллизации от теплофизических свойств сплава, его химического состава, геометрических характеристик ВЛПА, частоты вращения валков, температуры заливаемого металла и теплоотвода в пределах лунки жидкого металла.

УДК 621.746.558.086.4

А. В. Гресс, А. Ю. Омельчук, Я. А. Сорока

Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ В КОВШАХ МАЛОЙ ВМЕСТИМОСТИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СТАЛИ

Повышенная скорость теплоотдачи в ковшах малой вместимости вызывает необходимость увеличения интенсивности конвективных потоков посредством применения дополнительных способов перемешивания. Мировой опыт свидетельствует о том, что наилучшие результаты влияния на качество стали достигаются при использовании комбинированных способов перемешивания (электромагнитного с барботажным), поскольку простые методы имеют очевидные недостатки. В силу известной специфики литейных ковшей и застарелости соответствующих исследований, для оптимизации гидродинамических потоков металла в таких агрегатах весьма необходима информация о полных динамиче-

ских характеристиках расплава. Для ее получения целесообразно использовать физическое моделирование.

Поскольку моделируемая среда является гетерофазной (жидкость, газ), масштаб прозрачной физической модели определяли с помощью числа Лапласа. Для пересчета количественных характеристик скоростей перемещения моделирующей гетерофазной среды и времени перемешивания на реальные объекты использовали модифицированное число Фруда и критерий гомохронности, соответственно.

В ходе проведенных лабораторных экспериментов имитировали комбинированный процесс, при котором для обработки металла используется электромагнитное перемешивание совместно с дискретным барботажным (продувка жидкого металла в ковше инертным газом). Циркуляционный контур жидкостных потоков, по форме характерный для электромагнитного способа перемешивания стали в ковше, обеспечивали за счет использования специального устройства, устанавливаемого в заданное место объема модели ковша с помощью разработанных механических креплений с возможностью перемещения устройства в зависимости от задач эксперимента. Потоки металла, индуцируемые УЭМПМ, во всех исследованных случаях направляли сверху вниз. Для моделирования продувки металла инертным газом в днище модели ковша был предусмотрен перемещаемый продувочный узел, в который под избыточным давлением подавали воздух.

В качестве индикаторов движения жидкостных потоков использовали полистироловые шарики диаметром 1-1,5 мм, имеющие нулевую плавучесть (метод «трассеров»). Полученную картину фиксировали на цифровую видеокамеру и обрабатывали на ПЭВМ. Время гомогенизации жидкости определяли по изменению интенсивности окрашивания моделирующей среды.

В процессе холодного моделирования исследовали гидродинамику металлической ванны при различной интенсивности электромагнитного перемешивания и подаче в агрегат газа с удельным расходом 1,2-3,2 л/(мин·т).

На основании анализа результатов экспериментов определено, что наиболее эффективным, с точки зрения уменьшения времени полного перемешивания металла, является расположение места приложения электромагнитного перемешивания на расстоянии 0,5-0,6 высоты ковша при небольших интенсивности потока жидкости и удельном расходе газа, подаваемого через донную фурму, расположенную на 0,5 радиуса у противоположной стенки ковша.

Представляет интерес также расположение зоны электромагнитного воздействия на металл непосредственно над продувочным устройством. В этом случае при некотором уменьшении мощности перемешивания пузырьки газа рассредотачиваются по объему жидкой ванны, способствуя тем самым росту рафинирующей способности ковшовой обработки стали.

В целом, проведенные исследования позволили определить качественные и количественные характеристики поведения металла в объеме литейных ковшей при продувке их газом и одновременном воздействии электромагнитного поля. В частности: расположение активных и застойных зон, их геометрические параметры в зависимости от интенсивности подачи газа и расположения места приложения электромагнитного воздействия, что предполагает возможность обеспечения высокой степени усвоения различных присадок с одновременным ростом рафинирующей способности внепечной обработки.

УДК 621.771.06

А. В. Гресс, С. А. Стороженко, А. И. Васик

Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ

Внепечная обработка жидкой стали является одним из наиболее эффективных направлений коренного повышения качества и потребительских свойств металлопродукции массового назначения в металлургии и, в частности, в литейном производстве.

Исследование процессов внепечного легирования, микролегирования, раскисления, доводки, рафинирования и модифицирования стали экспериментальным путем достаточно трудоемко и требует оригинального и дорогостоящего оборудования, что в ряде случаев практически невозможно. Одним из способов решения поставленной задачи является математическое моделирование.

Среди известных методов математического моделирования процессов плавления следует особо выделить метод с явным выделением границы плавления. В основу метода положена идея динамической адаптации расчетной

сетки, выполняемой посредством перехода к произвольной нестационарной системе координат. Преобразование координат осуществляется автоматически с помощью искомого решения. Такой подход позволяет в значительной мере уменьшить количество узлов в расчетной сетке, а, следовательно, и повысить эффективность метода, в том числе при сопровождающей процесс плавления реагентов частой смене граничных условий. При решении уравнений математических моделей объекта (дифференциальных уравнений в частных производных) использовался известный метод конечных разностей.

Исследовали плавление одно- и многослойных тел цилиндрической и сферической формы. В качестве исходных данных при задаче граничных условий использовали результаты физического моделирования гидродинамики жидкого металла в литейных ковшах с различным типом перемешивания и конструкцией.

В результате вычислительного эксперимента определена кинетика плавления заданных материалов в зависимости от их геометрических характеристик, места ввода в литейный ковш и условий тепломассообмена. Найдены условия формирования и оплавления настывшей на поверхности реагентов. Предложены геометрические параметры добавок, режимов их ввода. Все это в совокупности позволит интенсифицировать процесс усвоения добавок в жидкой ванне при минимальной их степени угара.

УДК 621.742.57

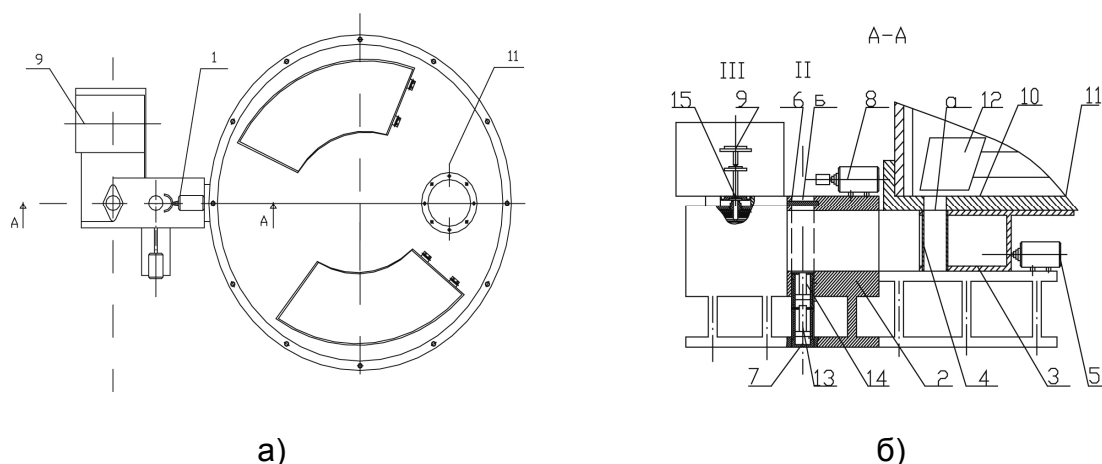
И. И. Гунько, С. В. Порохня, И. П. Волошинова

Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ НА ПРОЧНОСТЬ

В настоящее время определение качества формовочной смеси проводится следующим образом: по известной методике (1) готовится стандартный образец из исследуемой смеси, все операции выполняются вручную (отбор смеси, заполнение гильзы, уплотнение на копре, извлечение образца из гильзы). Затем образец устанавливают на приемную тарелку машины-автомата 04116Б для определения прочности смеси на сжатие во влажном состоянии и включают

питание. И только теперь операция разрушения образца происходит в автоматическом режиме, значение прочности смеси появляются на мониторе машины. Появляется необходимость в механизации и автоматизации данного процесса, что приводит к появлению совершенно новой конструкции устройства для контроля смеси на прочность (2). Схема (рис.1) и принцип работы следующий.



1 – устройство для контроля прочности смеси; 2 – стол; 3 – дозатор челночного типа; 4 – гильза; 5 – пневмоцилиндр дозатора; 6 – шибера стола; 7 – прессово-протяжной цилиндр; 8 – толкатель; 9 – машина для измерения прочности мод. 04116Б; 10 – днище чаши смесителя; 11 – смеситель; 12 – плужок; 13 – прессовый цилиндр; 14 – цилиндр протяжки; 15 – приемная тарелка машины мод. 04116Б

Рисунок 1 – Схема устройства для контроля прочности смеси
а- вид сверху; б – вид по сечению

Данное устройство устанавливается под смеситель, а именно под отверстие «а» в днище чаши смесителя диаметром 50 мм. Устройство работает таким образом. Челнок с гильзой находится на позиции 1 заполнения гильзы формовочной смесью. Проба смеси периодически берется из смесителя 11, для чего челнок дозатора 3 с гильзой 4 при помощи телескопического пневмоцилиндра 5 подъезжает под отверстие «а» в днище чаши 10 смесителя 11, откуда смесь выгружается при помощи плужков. Плужки перемещают смесь по днищу чаши 10 и она выгружается в отверстие «а». Как только масса смеси в гильзе 4 достигнет заданной – 170 г. (масса смеси контролируется с помощью датчика веса, встроенного в стол), челнок 3 по столу 2 перемещается на позицию 2 и перекрывает выпускное отверстие «а».

Когда челнок с гильзой находится на этой позиции, пневмоцилиндр шибера 6 стола 2 перекрывает отверстие «б» и происходит изготовление образца при помощи прессового цилиндра 13 путем уплотнения. После этого пневмоцилиндр шибера 6 возвращается в исходное положение и открывает отверстие «б», образец вынимается из гильзы цилиндром протяжки 14 на стол 2, по которому затем перемещается телескопическим толкателем 8 на приемную тарелку 15 машины 9 для измерения прочности смеси на сжатие во влажном состоянии мод. 04116Б. Происходит разрушение образца – измерение прочности смеси. Разрушенный образец убирается со стола также при помощи толкателя 8.

Таким образом, предложено приспособление для контроля формовочной смеси на прочность в автоматическом режиме.

Список литературы

1. Машина испытательная для определения предела прочности формовочных и стержневых смесей 04116Б. Руководство по эксплуатации. – ЛИТМАШПРИБОР, 1999 г. – 49с.
2. Патент УКРАИНЫ 45987 – У 2009 03 378. Патент на «Корисну модель». Пристрій для контролю міцності пісчано-глинистої суміші на стиснення в процесі її приготування / *И.И. Гунько, С.В.Порохня, И.П.Волошинова* // Бюл. №23, 2009,Опубл.10.12.2009.

УДК 621.742.22

Ю. И. Гутько, Ю. А. Свинороев, А. В. Третьяк

Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СВЯЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Литейное производство, являясь заготовительной базой машиностроения, 70% своей продукции производит в разовых песчаных формах. По этой причине такие технологии принято считать традиционными в производстве литья, а, значит, структурoобразующими для всей отрасли по аспектам технологии, экономики, экологии. Их использование основано на применении разнообразных связующих материалов, среди которых доминирующими являются связующие органической природы, производимые из углеводородного сырья (нефть, газ), а

потому несущие значительные экологические угрозы на этапах производства отливок.

Установлено, что подавляющее большинство упомянутых технологий построено на использовании холодно-твердеющих смесей (ХТС). Для их приготовления используются, как правило, смоляные связующие на фенольной основе. В странах Европейского союза практически все процессы изготовления литейных форм и стержней осуществляются по такой технологии. Будучи законодателями моды в сфере технологий, страны ЕС экспортируют построенные по такому принципу автоматические литейные линии и оборудование в страны СНГ и Украину. Обладая хорошими технологическими показателями и экономичностью процессов литья, они несут потенциальную экологическую угрозу вследствие применения фенольных смол и образующихся при этом токсичных выбросов.

Проведенный анализ качественного состава формирующихся в литейном цеху вредных газовых выбросов показывает, что наибольшая экологическая опасность исходит именно от связующих материалов на фенольной основе. В результате их термодеструкции образуются вещества первого и второго классов опасности (фенол, формальдегид, фурфурол, акролеин, бензапирен, бензол и т.п.), при этом превышение ПДК для рабочей зоны может превышать нормируемые значения в несколько десятков раз. Такое состояние требует замены фенольных смол более экологически чистыми литейными связующими.

Анализ возможных альтернативных решений показывает перспективность применения жидкостекольных и лигносульфонатных связующих как наиболее экологически чистых, экономичных и способных конкурировать при определенных условиях со смоляными связующими по показателям качества.

Для изготовления жидкостекольной самотвердеющей смеси (ЖСС) используют кварцевый песок с низким содержанием глины. Отверждение смеси производят с помощью углекислого газа, двухкальциевых силикатов в виде белого саморассыпающегося феррохромового шлака и сложных эфиров. Для ускорения отверждения ЖСС добавляют сернокислое железо или хлористый кальций. Смесь полностью затвердевает за 40-50 минут. Основными преимуществами ЖСС являются высокая экологичность процесса, доступность исходных материалов и простота использования смеси. Главными же недостатками являются затрудненный процесс регенерации отработанных смесей, низкая выбиваемость, а также высокая газопроницаемость, которая приводит к пригару, образующему-

ся из-за проникновения металла в поры литейной формы, что влечет за собой повышенные трудозатраты на покраску рабочей поверхности формы и выбивку. В настоящее время ведутся работы по улучшению качества ЖСС. Одним из перспективных направлений является модифицирование жидкого стекла органическими и неорганическими добавками.

Другим вариантом экологически чистых связующих материалов являются технические лигносульфонаты (ЛСТ). Их неоспоримые преимущества – широкая распространенность, дешевизна, экологичность, что соответствует тенденции использования нетоксичных связующих материалов. Факторами, сдерживающими использование ЛСТ, являются малая связующая способность и нестабильность их свойств, которые могут быть преодолены путем дополнительной обработки непосредственно в литейном цеху, что значительно расширяет возможности их использования.

Таким образом, решение экологических проблем литейного производства может быть найдено за счет использования экологически чистых литейных связующих на основе жидкого стекла или ЛСТ, но с качественно новым уровнем свойств, соответствующих требованиям современного производства отливок.

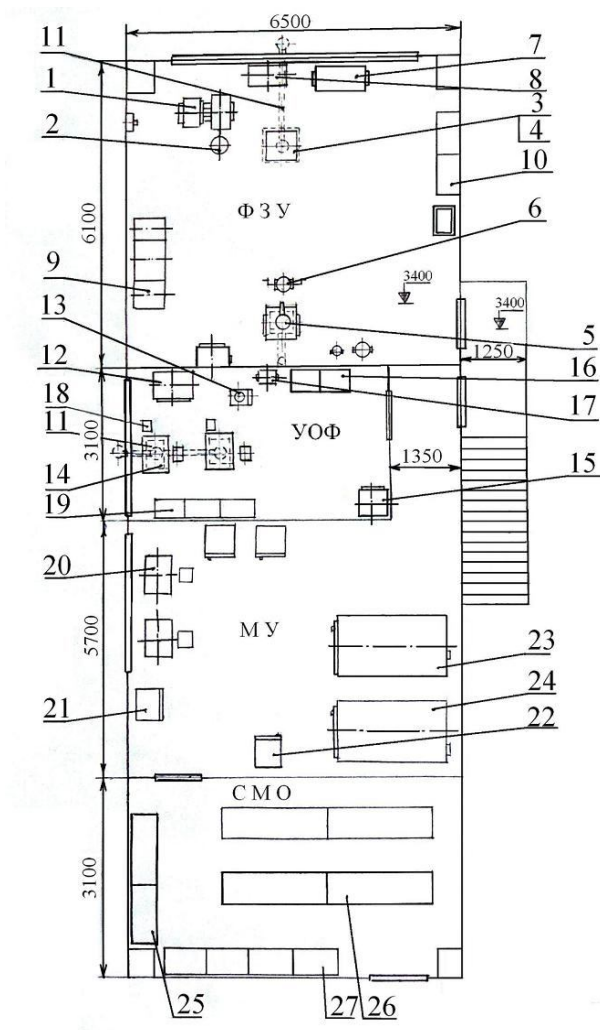
УДК 621.74.045

В. С. Дорошенко, К.Х. Бердыев, Ю. Н. Иванов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев,

ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРИИ ЛИТЬЯ ПО ЛЕДЯНЫМ МОДЕЛЯМ

Разработка процесса литья по ледяным моделям (ЛЛМ) в песчаные формы производится на научно-технологической базе литья по газифицируемым моделям. ЛЛМ включает операцию удаления разовой ледяной модели путем фильтрации ее расплава в песок формы с сохранением на месте модели полости формы для последующей ее заливки металлом. Проект лаборатории ЛЛМ площадью 110 м² представлен на рисунке.



Установленная мощность технологического оборудования – 250 кВт (max); вентиляция – местная, колпаковая, вытяжная, $G \geq 5 \dots 10$ м³/мин.; система водооборота – замкнутая, $V_{\max} = 500$ л.

Обозначение участков (У) на рис.:
 ФЗУ – формовочно-заливочный;
 УОФ – изготовления оболочковых форм; МУ – изготовления ледяных моделей; СМО – склад материалов и готовых оболочек.

Предусмотренное оборудование позволит отработать в лаборатории процессы ЛЛМ из черных и цветных сплавов, включая фильтрационную формовку как с использованием вакуума, так и без него, а также сушку песчаных оболочек.

Оборудование на участках

Позиция	Наименование	Кол-во, шт.
1.	Вакуумный насос ВВН-0,5	1
2.	Пескоотделитель	1
3.	Литейный контейнер	5
4.	Виброплощадка	1
5.	Печь плавильная ИСТ-0,06	1
6.	Литейный ковш $V=10-50$ кг	3
7.	Короб формовочного песка $V=0,3-1,0$ м ³	1
8.	Бак водооборота $V=0,2$ м ³	1
9.	Короб шихтовой	1
10.	Стеллаж $0,5 \times 1,7 \times 1,7$ м	1
11.	Система вентиляции	1
12.	Сушильная камера $V=0,5-1,5$ м ³	2

13.	Бегуны	1
14.	Рабочие столы	2
15.	Холодильная камера $V \approx 250$ л	1
16.	Короб расходных материалов $V=0,2 \text{ м}^3$	2
17.	Короб $V=0,1 \text{ м}^3$	1
18.	Тепловая ванна $V \approx 50$ л, $N= 2\text{ кВт}$	2
19.	Стеллаж $0,4 \times 0,6 \times 1,4$ м	3
20.	Рабочий верстак	2
21.	Холодильник $V \approx 250$ л	3
22.	Морозильная камера $V \approx 160$ л	1
23.	Камера тепла-холода $V=150$ л	1
24.	Камера тепла-холода $V=300$ л	1
25 и 26	Стеллажи $0,6 \times 1,4 \times 1,7$ м и $0,6 \times 2,0 \times 1,7$ м	2 и 4
27.	Бункер расходных материалов	4

Наиболее сложным в отработке процесса ЛЛМ является способ упрочнения оболочковой формы путем образования адгезионно-когезионного комплекса с использованием явления капиллярного транспорта. Этому предшествовали исследования по созданию способов нанесения порошковых противопопригарных красок на поверхность ледяной модели. Применение такого вида сухого покрытия основано на том, что при температуре близкой к точке плавления льда его поверхность является квазижидкостью с хаотичным расположением молекул воды в квазижидком слое, но одновременно с упорядоченной (по сравнению с кристаллом) ориентацией диполей в поверхностном слое льда, которая создает на поверхности льда электрический заряд. Этот заряд удерживает слой насыпаемой на ледяные модели порошковой краски толщиной $0,5 \dots 0,8$ мм. Примеры ледмоделей и отливок.



РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Разработка теоретических и технологических основ комплексного контроля, управления физико-химическими и технологическими процессами получения отливок необходима для создания систем дистанционного компьютерного мониторинга этих процессов. При этом наиболее сложными для мониторинга являются многофакторные процессы получения литейной формы, ее взаимодействия с отливкой при влиянии на характеристики последней, а также сопутствующий литейным процессам текущий контроль состояния оборудования и экологической безопасности окружающей среды.

Указанный комплексный контроль процессов литья по разовым моделям, относящихся к сфере разработок ФТИМС НАНУ, должен базироваться на адаптированных к системам автоматизированного управления процессами формообразования теплофизических, гидродинамических, регрессивных моделях, описывающих условия получения литейных моделей (полистироловых, низкотемпературных, ледяных), литейных форм (вакуумируемых, замороженных), взаимодействия жидкого, твердеющего металла с формой и моделью, структурообразования и физико-механические свойства отливок. Известные методы определения, идентификации основных параметров формообразования и получения отливок по разовым моделям, отраженные в физических и математических моделях, в настоящее время адаптируются для компьютерных программ, обеспечивающих возможность прогнозирования и идентификации качества литых конструкций.

Регрессионный анализ для систем прогнозирования позволяет определить зависимость между исходной переменной и множеством внешних факторов (регрессоров). Коэффициенты регрессии могут находить методами наименьших квадратов или максимального правдоподобия. Простейшая регрессионная модель - линейная регрессия основана на предположении, что существует дискретный внешний фактор $X(t)$, влияющий на исследуемый процесс $Z(t)$, и связь между процессом и внешним фактором линейна. Модель на основании линейной регрессии описывается уравнением $Z(t) = a_0 + a_1X(t) + e_t$, где a_0 и a_1 — коэффициенты регрессии; e_t — ошибка модели. Для получения прогнозных зна-

чений $Z(t)$ в момент времени t необходимо иметь значение $X(t)$ в тот же момент времени t , что, в принципе, редко выполнимо на практике.

В практических задачах на процесс $Z(t)$ влияет целый ряд дискретных внешних факторов $X_1(t), \dots, X_S(t)$. Тогда модель имеет вид $Z(t) = a_0 + a_1X_1(t) + a_2X_2(t) + \dots + a_SX_S(t) + \epsilon_t$. Недостатком ее является то, что для вычисления будущего значения процесса $Z(t)$ надо знать будущие значения всех факторов $X_1(t), \dots, X_S(t)$, что почти невыполнимо на практике.

Нелинейная регрессионная модель основана на том, что существует известная функция, описывающая зависимость между исходным процессом $Z(t)$ и внешним фактором $X(t)$. При этом $Z(t) = F(X(t), A)$. Для построения модели определяют параметры функции A . Например, можно предположить, что $Z(t) = a_1 \cos(X(t)) + a_0$. Для построения модели достаточно определить параметры $A = [a_1, a_0]$. На практике редко встречаются процессы, для которых вид зависимости между процессом $Z(t)$ и фактором $X(t)$ заранее известен. В связи с этим нелинейные регрессионные модели применяются редко.

Отметим, что линейные регрессионные модели упрощают проектирование систем мониторинга по сравнению с остальными моделями, а доступность для анализа всех вычислений дает прозрачность моделирования; среди недостатков - низкая адаптивность и отсутствие способности моделирования нелинейных процессов.

Модель группового учета аргументов (МГУА) разработана Ивахненко А.Г. Уравнение модели называется опорной функцией и имеет вид

$$Z(t) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^S \alpha_i X_i(t) + \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \alpha_{i,j} X_i(t) X_j(t) + \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \sum_{k=1}^S \alpha_{i,j,k} X_i(t) X_j(t) X_k(t) + \dots$$

Используя эту функцию, строят различные варианты моделей для некоторых или всех аргументов. Для каждой модели определяются её линейные коэффициенты $\alpha_i, \alpha_{i,j}, \alpha_{i,j,k} \dots$ методом регрессионного анализа. Среди всех моделей выбираются несколько (от 2 до 10) наилучших. При этом качество моделей определяется, например, среднеквадратичным отклонением или иным критерием. Если среди выбранных имеется модель, качество которой достаточно для использования полученных прогнозных значений, то процесс перебора моделей прекращается. В противном случае отобранные модели используются уже как аргументы $X_1(t), \dots, X_S(t)$ для опорных функций следующего этапа итерации. То есть, уже найденные модели участвуют в формировании более сложных моделей.

ПРИОРИТЕТНОСТЬ ПЕРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИТЕЙНОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

Разработка систем дистанционного компьютерного мониторинга литейных процессов проводится на базе теоретических и технологических основ комплексного контроля, управления физико-химическими и технологическими процессами получения отливок. Десятки операций в составе процессов литья по разовым моделям, разработанных ФТИМС НАНУ, используют теплофизические, гидродинамические явления и тепломассоперенос с большим количеством (порядка сотен) переменных. Эти переменные отражают условия получения литейных моделей (пенополистироловых, ледяных) и песчаных форм (вакуумируемых, замороженных), взаимодействия жидкого, твердеющего металла с формой и моделью (моно-, многослойной и армированной), структурообразования и физико-механические свойства отливок. Идея контроля литейных процессов может показаться весьма сложной из-за большого количества переменных (особенно в модельно-формовочных технологиях), что требует классификации и сортирования этих переменных для упрощения организации компьютерного мониторинга.

В методике [1] все переменные классифицируют как "входные" и "выходные". По определению входные переменные характеризуют течение литейного процесса, например, температура заливки металла, состав шихты и др. Выходные переменные характеризуют результат процесса, например, качество поверхности отливки, свойства металла. Но для получения требуемого результата нам нужно контролировать только некоторые из этих переменных, называемые "ключевыми" переменными, они бывают двух разных типов: ключевые входные (KIV) и ключевые выходные (KOV).

Основные выходные переменные процесса могут быть определены путем изучения двух различных точек зрения: с точки зрения заказчика и с точки зрения производителя литья. Они представляют характеристики, которые оказывают существенное влияние на эффективность производства и удовлетворенность заказчика. Следовательно, риск изменения в ключевых выходных пере-

менных процесса приводит к снижению уровня качества и надежности, и, в конечном счете, к более высоким затратам.

Основной процесс выявления ключевых переменных (KIV и KOV) состоит в выполнении следующих действий:

- составление карты процесса от поставщика сырья до отгрузки литья;
- изучение требований заказчика;
- проектирование в обратном направлении от заказчика;
- убедиться, что отношения между заказчиком и KOV-KIV в вашем процессе определяются на основании экспериментов, наблюдений или сбора данных;
- установить контроль уровней и методов проверки KIV;
- использование проверенных KIV для управления другими KIV от начала до конца процесса.

В маршрутизации изготавливаемой отливки "ключевые выходные" переменные определены в системе как атрибуты качества. Каждый атрибут может быть определен как качественный (прошел - не прошел), или количественный с верхним и нижним контрольным пределом (мин/макс) - порогом срабатывания. Эти пороги срабатывания сигнализации обеспечивают возможность уведомить персонал о скором выходе из допусков параметра и, как следствие, возможном ухудшении качества. Подробные инструкции о том, как проверять качество изделия наряду с рисунками, фотографиями и/или видео, прикрепляют к системе маршрутизации. Входные переменные также определяют на уровне маршрутизации. Если ключевые входные переменные - под контролем, то процесс будет предсказуемым до своего завершения.

Для управления производственным процессом используют сенсорные станции сбора данных по цеху с отображением входных переменных и созданием соответствующих документов. Эти станции также имеют возможность записывания результатов всех проверок качества (выходных переменных). В режиме реального времени параметры процесса могут быть пересмотрены для мониторинга выходных переменных.

Ключевым компонентом успеха внедрения изменений в процесс производства является понимание важности перемен всеми сотрудниками.

Список литературы

1. *Jeff Kroneberg, Nipendra P. Singh*. How to Initiate, Implement, and Monitor a Process Control Initiative. Article, <http://foundrymag.com/>, jan. 17, 2013.

СУХАЯ ФОРМОВОЧНАЯ СМЕСЬ ОПТИМАЛЬНОГО ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ФОРМОВКИ ПО ЛЕДЯНЫМ МОДЕЛЯМ

Новые процессы формовки привнесли новые виды формовочных смесей. По аналогии с быстрым развитием сухих строительных смесей стали применяться сухие формовочные смеси, уплотняемые в сыпучем состоянии при изготовлении литейных песчаных форм, которые после уплотнения упрочняют фильтрацией жидкости с реагентом, вызывающим твердение смеси.

Большинство применяемых сегодня зернистых смесей для получения формовочного изделия перед уплотнением увлажняются или замешиваются со связующим. Оно смачивает, обволакивает (плакирует) зерна наполнителя, которые соприкасаются между собой через прослойки пленок, а уплотнение смеси связано с деформацией и разрушением одних манжет между зернами и образование новых. Это требует значительных затрат на оборудование, оснастку и энергию для уплотнения смесей, либо затрат на перевод смесей в жидкоподвижное состояние с последующей сушкой. Малозатратное уплотнение смеси состоит в виброуплотнении сухой сыпучей смеси в течение 60...90 с при стыковании зерен наполнителя своей поверхностью без пленок связующего, частицы которого и др. добавок размещают (вытесняют) между зернами наполнителя. Например, песок для бетона должен состоять из зерен различного размера, чтобы его межзерновая пористость была минимальной; чем меньше объем пустот в песке, тем меньше требуется цемента для получения плотного бетона [1]. По П. П. Бергу моделирование уменьшения пористости формовочных смесей на шарах двух диаметров показало, что между большими шарами диаметра D разместятся малые шары с диаметром $d=(2^{0,5}-1)D\approx 0,41D$. Тогда для песка со средним размером зерен $D_{\text{ср}}$ для всех технологических добавок из зернистых материалов (связующее, отвердитель и др.) приняли средний размер $D_{\text{тд}} \leq 0,41D_{\text{ср}}$.

Следующий метод оптимизации основан на рекомендованном для кварцевых песков [2] уравнении Фуллера, по которому для формовочной смеси из сухого песка по ГОСТ 2138-91 (или его смеси с регенерированным песком в количестве 0...100%) содержание (масс. %) технологических добавок должно со-

ставлять менее $X=100(0,41D_{\text{ср}} / D_{\text{макс}})^{0,5} - M$, где, $D_{\text{ср}}$ и $D_{\text{макс}}$ - средний и максимальный размеры зерна наполнителя, M – фактическое уже имеющееся содержание (масс. %) фракций в наполнителе с размерами меньше $0,41 D_{\text{ср}}$. Т.е., определили по уравнению Фуллера количество конкретной мелкой фракции, вычли имеющуюся такую же фракцию в данном песке и получили интервал, который заполняем технологическими добавками этой же фракции.

Такая оптимизация позволяет создать прочный каркас из зерен наполнителя при контакте их своей поверхностью, а технологические добавки в виде зернистых материалов разместить в пустотах этого прочного каркаса. Для примера определили состав смеси на основе кварцевого формовочного песка по ГОСТ 2138-91 из таблицы для определения среднего размера зерна по ГОСТ 29234.3-91. Провели расчет по таблице рассева такого песка. $D_{\text{макс}} = 1,00$ мм, $D_{\text{ср}} = 0,206$ мм. Тогда средний размер зерен технологических добавок должен не превышать $D_{\text{тд}} = 0,41D_{\text{ср}} = 0,084$ мм. Поскольку ячейки сита с размером $0,084$ мм по ГОСТ 29234.3-91 не указаны, то ужесточили условия и в качестве M приняли массу частиц, прошедших сквозь ячейку ближайшего большего размера $0,10$; по данным таблицы $M = 5,2\%$. Допустимое содержание технологич. добавок: $X = 100(D_{\text{тд}}/D_{\text{макс}})^{0,5} - M = 100(0,084/1)^{0,5} - 5,2 = 29,0 - 5,2 = 23,8\%$. Таким образом, в смесь должна состоять из формовочного песка, рассев которого - в таблице ГОСТ 29234.3-91, и технологических добавок со средним диаметром менее $0,084$ мм в количестве менее $23,8\%$. Подобную смесь виброуплотняли в сухом состоянии в опоке с ледяной моделью и упрочняли при фильтрации водной композицией от тающей ледяной модели. Состав смеси: выше рассмотренный песок - 77% ; гипсовое вяжущее - 15% тонкого помола с макс. остатком на сите с ячейками размером в свету $0,2$ мм - не более 2% ; цемент - 8% с удельной поверхностью $0,7...0,9$ м²/г. Эти добавки имели $D_{\text{ср}}$ менее $0,084$ мм. В состав льда модели вводили жидкое стекло $1...2\%$ для ускорения твердения смеси и ее водостойкости. Методику рекомендовано занести в компьютерные программы для расчета и мониторинга изменения характеристик смеси на длительных промежутках времени как составляющую операцию контроля качественных показателей литейного процесса.

Список литературы

1. Баженов Ю. М., Комар А. Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. - М.: Стройиздат, 1984. - 672 с.

2. Зозуля П. В. Штукатурные материалы: традиции и современность // Доклады конф. Baltimix-2006, <http://rudocs.exdat.com/docs/index-215924.html> (дата обр. 18.4.2013).

УДК 621.744.3

Н. С. Евтушенко, Т.С. Бондаренко, О. И. Шинский

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

СВОЙСТВА РЕГЕНЕРИРУЕМЫХ ПЕСКОВ

Одним из главных условий получения высококачественных отливок является использование качественных формовочных и стержневых смесей. Поскольку смеси оказывают сложное и многообразное на весь технологический процесс производства отливок, они должны обладать многими свойствами. Благодаря своим технологическим преимуществам процесс ХТС на смолах широко применяется в литейном производстве, однако одним из существенных сдерживающих факторов является высокая стоимость смеси. Обычно она складывается из стоимости кварцевого песка, связующего и отвердителя.

Качество формовочной смеси напрямую связано с качеством применяемого песка. Формовочные пески – основной компонент формовочных и стержневых смесей: в формовочных смесях они составляют до 95% всей массы смеси, а в стержневых – 95-97%. Наиболее оптимальным является использование кварцевого песка, с содержанием глинистой составляющей не более 0,2...0,5%, и основной фракцией песка 0,2...0,315. Обогащенный песок значительно дороже карьерных песков и отправлять его в отвал после выбивки экономически и экологически невыгодно. Наиболее рациональным решением является повторное использование песков.

В связи с этим изучение материалов, используемых для изготовления формовочных и стержневых смесей, а также понимание теоретических основ формирования их свойств является актуальной задачей литейного производства.

Целью работы является изучение свойств отработанных песков ХТС на смолах с олигофурфурилоксисилаксановым связующим (ОФОС).

При приготовлении смеси в качестве наполнителя использовали кварцевый песок марки 2К1О₁02 ГОСТ 2138 – 91. Смесь готовили традиционным для ХТС способом. На 100 в.ч. кварцевого песка по ГОСТ 29234.0 – 91 добавляли 1,0 в.ч. 50 – 70 % водного раствора кислотного катализатора, смесь тщательно перемешивали на протяжении 60 секунд, потом к этой смеси добавляли 2 в.ч. связующего и снова тщательно перемешивали на протяжении 120 секунд. Смесь заформовывали в 9-местную пресс форму, которая используется для исследования свойств ХТС, выдерживали в течение 30 минут и образцы извлекали из формы. Затем их помещали в муфельную печь и при температуре 800°C выдерживали в течение часа. По истечении времени образцы рассыпались и из песка снова изготавливали образцы. Этот процесс повторяли 8 раз. Каждый раз изучали структуру зерен песка с помощью электронного микроскопа. Со временем наблюдалось появление «бархатной» пыли на зернах песка. Предположительно считаем, что «бархатная» пыль на зернах является коксовой составляющей смолы.

Для исследования составов отработанных песков был проведен рентгенографический фазовый анализ. Рентгеносъёмка проводилась на аппарате ДРОН-3.0 в медном излучении ($\lambda=1,54^\circ\text{A}$) с монохроматором на дифрагируемом пучке при $U=30\text{kV}$, $I=30\text{A}$. Дифрактограммы снимались в угловом интервале $2\Theta=16...75^\circ$.

Установлено, что на дифрактограммах присутствует только кварц. Других элементов в песке не выявлено. Сравнение дифрактограмм показывает, что первая дифрактограмма отличается от последующих повышенной дисперсностью кварца.

УДК 621.74.049:621.744.5:658

Н. И. Замятин, Т. В. Лысенко, В. А. Русева

Одесский национальный политехнический институт, Одесса

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ КРАСОК НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ПРИ ЛИТЬЕ В ЗАМОРОЖЕННЫЕ ФОРМЫ

При литье под низким давлением возможен брак по газовой пористости,

заливам, пригару. Для устранения брака, а так же для улучшения качества поверхности отливок из алюминиевых сплавов при литье под низким давлением в замороженную форму [1] применялись противопопригарные краски.

Применение противопопригарных красок в виде различных смесей в комплекте с органическими растворителями накладывает дополнительное условие на технологию нанесения и сушки окрашенных форм и являются небезопасными, т.к. в условиях литейного цеха возможно возгорание указанных материалов. Кроме того, в большинстве случаев компоненты таких красок дорогостоящи и дефицитны. Поэтому нами исследовались краски на водной основе.

Составы противопопригарных красок приведены в таблице 1.

Таблица 1

Составы противопопригарных красок замороженных форм

№ п/п	Маркировка покрытия	Компоненты покрытия	Состав, вес %
1	2	3	4
1.	1	Циркон Дистенсиллимонит Бентонит Сульфитно-спиртная барда Na — КМЦ Вода	22-25 53-55 5-7 4-5 7-8 К нужной плотности
2.	2	Графит аморфный Графит кристаллический Мел Бентонит Окисел цинка Жидкое стекло Вода	8-9 43-48 4-5 18-19 15-16 7-8 К нужной плотности
3.	3	Двуокись титана Дистенсиллимонит Бентонит Сульфитно-спиртная барда Вода	30-32 30-32 31-32 1-1,5 К нужной плотности
4.	4	Циркон Дистенсиллимонит Бентонит Аф-связующее Вода	22-25 53-55 2-3 4-6 К нужной плотности
5.	Натир ТД	Тальк Декстрин Графит Вода	50-52 8-9 10-12 29-32

Применение противопопригарных красок позволяет получать отливки из алюминиевых сплавов литьем под низким давлением в замороженные формы с

уменьшением пригара с 3,08 г для неокрашенной формы до 0,32 г при применении ТД-натира, 0,26 при применении противопопригарной краски 2, либо практически избавиться от пригара (противопопригарные краски 1, 3, 4).

Список литературы

1. *Замятин Н.И., Солоненко Л.И., Вершинина А.И.* Метод нанесения противопопригарного покрытия на замороженные формы // Материалы международной научно-практической конференции-выставки «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология». – Киев: – 2011. – С. 126-128.

УДК 621.792.6:669.718

А. С. Затуловский, А. В. Косинская, В. А. Щерецкий, В. А. Лакеев

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ

Перспективными материалами, для использования в качестве армирующих элементов при получении литых композиционных материалов (ЛКМ), могут явиться отходы ряда производств, например, металлургические шлаки, пылеуносы, золы и др., имеющие в основе оксидную природу. Как армирующие элементы, они обладают важными физико-химическими свойствами: высокой твердостью, структурной и термической стабильностью, химически устойчивы, практически не изменяют своих свойств при рабочих температурах, жаростойки и имеют близкую к жидкому алюминию плотность. Эти материалы являются недорогими и недефицитными, сделают ЛКМ доступными для массового машиностроения.

Для получения композитов использовали жидкофазный метод: литье гетерогенного расплава с предварительно введенными, замешиванием в жидкий сплав алюминия, неметаллическими частицами. В качестве матричного применяли литейные сплавы АК-12; АК5М2; АК12М2МгН. Армирующими компонентами служили порошки ваграночного шлака, отходов шамотного и камнелитейного производства. Размеры используемых частиц, находились в пределах 10-300

мкм. Введение их в расплав осуществляли при температуре $750 \pm 20^\circ\text{C}$ и скорости вращения замешивающего устройства 300 мин^{-1} . Количество вводимого армирующего компонента составляло 1-10 об. %.

Присутствие неметаллического наполнителя в алюминиевом сплаве обуславливает изменение физико-механических и триботехнических свойств ЛКМ. В процессе экспериментов в условиях сухого трения на установке МТ-68 задавали различные нагрузки и скорость скольжения. Установили, что армирование алюминиевых сплавов приводит к снижению коэффициента трения, как при увеличении скорости скольжения, так и прилагаемого давления. Возрастает ресурс стабильной работы материалов, уменьшается их износ. Например, при содержании шамотных частиц 1-2 об. % при нагрузке 8 кг/см^2 , по сравнению с исходным сплавом АК12М2МгН, величина износа у ЛКМ снижается на 30 %, и почти в 2,0 раза при количестве частиц 5 – 7 об. %. Композиты на основе сплава АК5М2 с камнелитыми частицами по износостойкости превышают сплав-основу при нагрузке 6 кг/см^2 на 16- 20 %, а при нагрузке 12 кг/см^2 – на 30 – 35 %. Однако, с повышением скорости скольжения величина износа этих ЛКМ резко возрастает и при $V = 15 \text{ м/с}$ имеет место катастрофический износ. Сравнительные испытания на трение КМ были проведены также по схеме колодка-ролик на машине трения СМЦ-2 при использовании смазки М14В2. Ролик был изготовлен из цементированной стали 12ХН3А. Образцы из КМ на матрице сплава АК5М2 с частицами шамотного, камнелитого и шлакового материалов, изготовленные в виде куба с ребром 10 мм, представляют собой неподвижную колодку, которую с определенной нагрузкой (1-2 кН) прижимали к подвижному стальному ролику. Наименьший износ имели образцы, армированные шлаковыми частицами. При малой нагрузке коэффициент трения практически не зависит от качественного состава материалов армирования. Наиболее стабильные результаты показали образцы со шлаковым наполнителем. Коэффициент трения у них (0,07...0,077) практически не изменяется в интервале прикладываемых нагрузок и имеет min значения при max нагрузке.

Использование в качестве армирующих элементов дешевых и недефицитных неметаллических частиц – отходов производства позволяет получить новые ЛКМ с повышенными физико-механическими свойствами.

Как показали исследования, ЛКМ системы алюминиевый сплав – неметаллические частицы (металлургических шлаков, каменного литья, шамота, золоуносов) имеют в зависимости от состава в 1,5 – 2,0 раза более высокий

модуль упругости, на 20 – 25 % меньший коэффициент линейного расширения, более длительный интервал текучести, повышенные в 1,3 – 1,5 раза триботехнические характеристики, что обеспечивает увеличение параметров надежной работы ЛАМ по сравнению с моносплавом на основе алюминия.

УДК 621.792.6:678.046

А. С. Затуловский, В. А. Щерецкий

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМ- ПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время все более широкое промышленное применение находят литые композиционные материалы (ЛКМ) на алюминиевых матрицах как конструкционные и функциональные сплавы. Преимущества их состоят в том, что они обладают высокой удельной прочностью, износостойкостью, а также некоторыми другими повышенными физико-механическими свойствами [1]. В основном ЛКМ получают с помощью технологий твердо-жидкофазного совмещения (пропитки, специальных методов литья) [2]. Используя технологию пропитки порошковых смесей жидким матричным сплавом можно получать изделия и литые заготовки композиционного материала с заданным комплексом свойств и рабочих характеристик. Исследования триботехнических свойств КМ проводили на машине трения МТ-68 в условиях сухого трения и в условиях граничной смазки машинным маслом при нагрузках 0,6 – 2,4 МПа и скоростях трения от 0,5 до 10 м/с, контртело – стальной вал повышенной твердости HRC = 59 – 61 (Сталь 65Г, ГОСТ 14959-79). Уровень износостойкости материалов оценивали по интенсивности изнашивания $I = m/(L \cdot S)$, где m – потеря массы образца, L – путь трения, S – площадь трибоконтакта. Установлено, что ввод неметаллических высокомодульных частиц в алюминиевые сплавы позволяет кардинально повысить износостойкость материала, а введение графита и ультрадисперсной взвеси луковичных наноструктур углерода снижает коэффициент трения, а в некоторых случаях одновременно повышает износостойкость материала. Кро-

ме того, исследовали комплексное влияние частиц разного типа и размера на свойства ЛКМ. Методом вакуум-компрессионной пропитки получали композиты с содержанием до 70 об. % дискретных частиц размером 200 – 160 мкм в металлической матрице и до 3 вес. % высокодисперсных частиц (менее 1 мкм). Для сравнительного анализа, был получен ряд композиционных материалов с содержанием наполнителя 60 – 70 об. % на основе сплава АК7 (рис.1) Данные образцы КМ подвергли триботехническим испытаниям в условиях сухого трения. Установили, что алюмоматричные ЛКМ, упрочненные частицами WC и SiC по своим триботехническим свойствам не уступают, а в некоторых режимах трения превосходят бронзу БрАЖ 9-4 ГОСТ 18175-78. Низкий показатель износостойкости образцов № 1 и № 3 ЛКМ для первого объясняется плохой адгезией частиц песка, а для второго неоднородностью структуры частиц пылеуноса, что приводит к частичному разрушению и выкрашиванию частиц наполнителя в процессе трения.

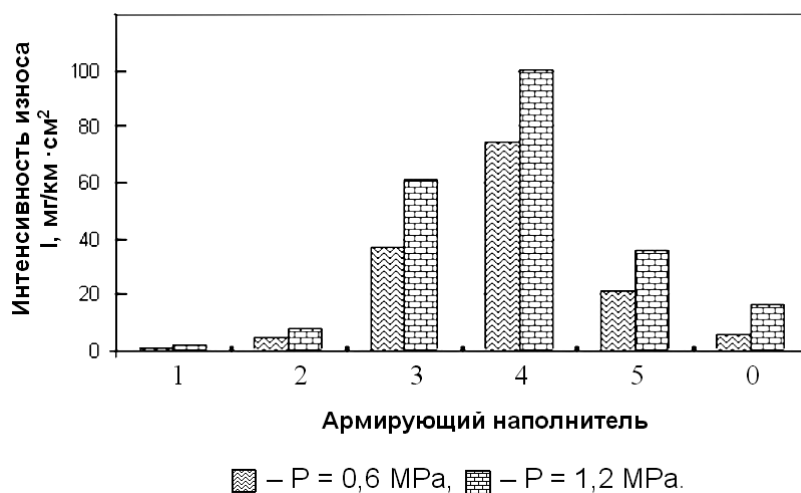


Рис.1. Интенсивность износа образцов ЛКМ: 0– БрАЖ 9-4, 1 – ЛКМ АК7 + 70 об. % WC, 2 – ЛКМ АК7 + 60-70 об % SiC, 3 – ЛКМ АК7 + 60 об. % пылеуноса, 4 – ЛКМ АК7 + 60 % об графита, 5 – ЛКМ АК7 + 60 об. силикатного песка.

По результатам трибоиспытаний были изготовлены композиционные вкладыши из литого композиционного материала состава 2,5 вес. % SiC (100 – 500 нм) +10 вес. % SiC (200 – 150 мкм)+0,5. вес % ЛНУ на базе сплава АК12М2МгН для восстановления сердцевины из порошковой бронзы подшипника скольжения марки SA-12С для карусельного станка КС-412. Промышленные испытания проводили на ПАТ «Киевский ЭВРЗ» что ресурс восстановленной детали в среднем выше оригинальной детали на треть. Эти результаты подтвердили перспективность промышленного применения комплексно армированных алюмоматричных композиционных материалов

Список литературы

1. *Найдек В. Л., Затуловский С. С., Затуловский А. С. и др.* Литые композиционные и нанокристаллические материалы – достижения, проблемы // *Металлургия машиностроения*. – 2005. – №6. – С. 18– 28.
2. *Затуловский С. С. и др.* Литые композиционные материалы.- Киев: Техника, 1990.-240 с.

УДК 620.18

Э. В. Захарченко, Л. Ф. Жуков, Е. А. Сиренко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г.Киев

ЦВЕТНАЯ МЕТАЛЛОГРАФИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Цветная металлография, основанная на интерференционном эффекте тонких пленок на полированной поверхности сплавов, обладает лучшей дифференцирующей способностью, большей чувствительностью к ликвации, ориентации зерен и напряженному состоянию по сравнению с черно-белой металлографией. Она добавляет новые функции для традиционной металлографии и имеет перспективы широкого применения для изучения структур затвердевания и твердофазных превращений литых сплавов.

Решающее влияние на цветовой эффект оказывают три следующих фактора: состав реагента для травления, температура травления и время (длительность) травления. Известно много методов цветной металлографии, использующих поляризованный свет, химическое осаждение (метод травления), постоянный потенциал, вакуумные покрытия, ионное напыление, тепловое окрашивание. Метод травления горячими щелочами – самый простой и удобный из их числа. Например, в области чугунов цветная металлография с использованием метода травления горячими щелочами имеет следующие преимущества: выявляет особенности развития процесса затвердевания; выявляет структуру затвердевания при высоких температурах и одновременно трансформацию фаз при пониженных температурах; визуально и быстро выявляет микроликвацию; метод характеризуется высокой чувствительностью. Для изучения процесса зарождения и роста графитной фазы в чугунах цветное травление дополняется структурно-закалочным методом. Наконец, если цвета будут

предварительно прокалиброваны на электронном микроанализаторе, этот метод станет полуколичественным или полностью количественным.

Состав, приготовление и назначения реагентов. Щелочной реагент для горячего травления состоит из гидрата натрия (NaOH), гидрата калия (KOH), пикриновой кислоты $[\text{HO}\cdot\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_3)_2]$ и дистиллированной воды (см. таблицу).[1]

Номер реагента	Состав реагента для чугунов				Режим травления	
	NaOH, г	KOH, г	Пикриновая кислота, г	Дистиллированная вода, мл	Температура, °C	Время мин
1	28	1	4	200	95-100	10-30
2	100	-	8	200	95-100	1,5-4
3	20	3	4	200	65	10-65
4	40	160	40	200	120	1-1,5
5	28	56	28	200	95-100	1,5-3

Реагент 1 имеет умеренную щелочность и мягкую реакцию; образующиеся цвета обладают хорошей цветовой градацией (постепенностью перехода от одного цвета к другому); реакция – медленная, время травления – длительное и его легко изменять. Реагенты 2 и 4 – сильно щелочные, реакция бурная, резкие цвета могут быть получены за короткое время. Реагенты 2 и 4 наиболее подходят для травления низкокремнистых чугунов. Реагент 5 вызывает бурную реакцию, имеет короткое время травления и особенно подходит для травления чугунов с шаровидным графитом, содержащих алюминий. Реагент 3 имеет меньшую щелочность по сравнению с Реагентом 1; требует более низкую температуру травления; пригоден для изучения невооруженным глазом макроморфологии затвердевания при малых увеличениях.

Процедура приготовления травильного реагента состоит в следующем. Первым в воду добавляется NaOH и перемешивается для ускорения растворения; затем добавляется пикриновая кислота и перемешивается для получения однородного раствора. Однородный раствор нагревают до нужной температуры (лучше всего нагрев выполнять в ванне постоянной температуры) и затем погружают образец металла в раствор. После выдержки образца при постоянной температуре в течение заданного времени вынуть образец, промыть дистиллированной водой, затем тщательно смыть воду чистым этиловым спиртом. Образец после высушивания готов для металлографического исследования.

Особенности травления образцов. Время травления при постоянной температуре оказывает сильное влияние на скорость образования тонкой интерференционной пленки на полированной поверхности образца. При увеличении дли-

тельности травления цвет пленки постепенно изменяется и показывает развитие процесса выявления структуры изучаемого образца. Последовательность изменения цвета интерференционной пленки: коричневый, синий, светло-синий, светло-желтый, желто-коричневый, оранжевый, сине-зеленый, красно-желтый.

Гарантией однозначного результата служит хорошо контролируемая температура травильного раствора. Чем выше температура, тем более коротким должно быть время травления. Для обеспечения хорошего цветового контраста для различных образцов или получения того же самого либо подобного цвета для определенной фазы необходимо поддерживать постоянство температуры при изменении времени травления. Для определенной структуры время, необходимое для достижения определенного цвета зависит от химического состава сплава (в случае чугунов – от содержания кремния). Для образцов, щелочное травление которых затруднено, рекомендуется предварительное травление обычными реагентами для повышения активности поверхности; это может ускорить образование интерференционной пленки.

В отделе термометрии и физико-химических исследований ФТИМС НАН Украины метод цветной металлографии с использованием травления горячими щелочами усовершенствован применительно к термографическому экспресс-анализу структуры и химического состава чугунов.

Список литературы

1. *Zhou Jiyang*. CHINA FOUNDRY. 2009-2011. Serial Reports. Colour Metallography of Cast Iron.

УДК 621.747

Б. Г. Зеленый, А. А. Ясинский, В. Б. Бубликов, Л. А. Зеленая

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, РЕЖИМОВ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Исследовано влияние состава шихтовых материалов, модифицирования, предмодифицирующей подготовки исходного расплава на изменение характеристик структуры и свойств ВЧ в отливках с толщиной стенки от 2,0 до 60 мм. Выплавку исходного чугуна проводили в электропечах с использованием следующих вариантов состава шихты:

I - отходы (высечка) сталей марок Ст 3, Ст 20, 08Кп, 2111, 2112, 2211, графитовый порошок; II - стальная и чугунная стружка, отходы стали Ст 3, графитовый порошок; III - литейный и переделный чушковые чугуны, отходы стали Ст 3. Сфероидизирующую обработку жидкого чугуна осуществляли в ковше модификаторами ЖКМК2Р, ФСМг7, Ni-Mg-РЗМ.

При использовании чугунной и стальной стружки её предварительно переплавляли с отходами листовой стали и карбюризатором в дуговой электропечи. Полученный «базовый» чугун служил основной составляющей шихты (II вариант) при выплавке исходного расплава для сфероидизирующего модифицирования. Результаты взаимного влияния состава шихтовых материалов и сфероидизирующих модификаторов на механические свойства ВЧ в литом состоянии приведены в таблице.

Таблица

Вариант шихты (см. текст)	Модификатор	Механические свойства ВЧ				
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	КС, Дж/см ²	НВ
I	ЖКМК2Р	633	516	14,8	106	197
	ФСМг7	612	457	10,0	72	212
	Ni-Mg-РЗМ	660	507	13,0	94	217
II	ЖКМК2Р	709	580	3,1	16	285
	ФСМг7	784	622	1,2	8	321
	Ni-Mg-РЗМ	740	569	1,9	12	285
III	ЖКМК2Р	593	469	8,4	51	229
	ФСМг7	608	452	6,5	41	231
	Ni-Mg-РЗМ	633	517	5,9	42	231

При дефиците рафинированных чушковых чугунов с низким содержанием серы использование отходов электротехнических и листовых сталей в качестве шихты позволяет достичь оптимального сочетания прочностных и пластических свойств ВЧ в литом состоянии при обработке чугуна всеми опробованными модификаторами. Количество графита в металлической основе ВЧ в 1,5-2 р. больше по сравнению с ВЧ, полученном при применении в качестве шихты чушковых чугунов. При применении в качестве шихты стальной и чугунной стружки (II вариант) прочностные свойства ВЧ повышаются на 11-20 %, а пластические снижаются на 75-85%, что обусловлено наличием в составе стружки карбидообразующих (0,22-0,36% Cr, до 0,2% Mo, V, W) и примесных элементов (Ti, Pb), способствующих выделению цементита в виде сетки по границам перлитных зерен, повышению твердости ВЧ и его хрупкости.

Плавка чугуна в электропечах с использованием в качестве шихты отходов стали, корректировка его химического состава связаны с продолжительной выдержкой расплава в перегретом состоянии. При этом происходит уменьшение размеров зародышей графита, частичное или полное их растворение, всплывание части зародышей в жидком чугуне, что приводит к повышению доли связанного углерода и увеличению склонности чугуна к метастабильной кристаллизации. Это служит одной из причин ухудшения формы графита при сфероидизирующем модифицировании. Определено влияние температуры перегрева (1400°C , 1500°C) и времени выдержки (от 30 до 300 мин.) в электропечи исходного жидкого чугуна на изменение структуры и механических свойств ВЧ в отливках. Сфероидизирующее модифицирование после изотермической выдержки производили модификатором ЖКМК2Р с предварительной обработкой исходного расплава в печи графитизирующими добавками (графитовый порошок, ферросилиций фракцией 1-3 мм) и без такой обработки. Предмодифицирующая обработка графитизирующими присадками жидкого чугуна (даже в случае 30 мин. выдержки) позволяет повысить механические свойства (особенно пластические) чугуна после сфероидизирующего модифицирования, вследствие устранения карбидообразования, увеличения дисперсности графита, его степени сфероидизации и количества ферритной составляющей в структуре.

Таким образом, состав и качество шихтовых материалов, предмодифицирующая подготовка исходного жидкого чугуна являются факторами, позволяющими прогнозировать структуру и свойства ВЧ в отливках.

УДК 621.74.04

А. А. Жегур, С. И. Репях

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

УСЛОВНАЯ ОСЫПАЕМОСТЬ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ

Величину условной осыпаемости рабочей поверхности керамических оболочковых форм (КО), используемых в литье по выплавляемым моделям, определяли

по следующей методике. На поверхность стеклянной пластины прямоугольной формы с размерами $150 \times 120 \times (2 \dots 5)$ мм наносили модельный состав (МС) путём её одно- или двукратного погружения в его расплав (см. рис. 1. а), что обеспечивало глянецовость поверхности затвердевшего слоя МС.

Подготовленные таким образом пластины охлаждали до комнатной температуры, после чего на их поверхность, покрытую МС, наносили 5...8 слоёв огнеупорного покрытия (см. рис. 1. б). По окончании сушки последнего слоя огнеупорного покрытия из полученной КО в горячем воздухе (в кипящей воде, в бойлерклаве) выплавляли МС и удаляли из неё стеклянную пластину. Через сутки, полученные КО в электропечи сопротивления нагревали со скоростью не более $170 \text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ до температуры $950 \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, выдерживали при данной температуре в течение 2...3 ч и охлаждали до комнатной температуры вместе с печью.

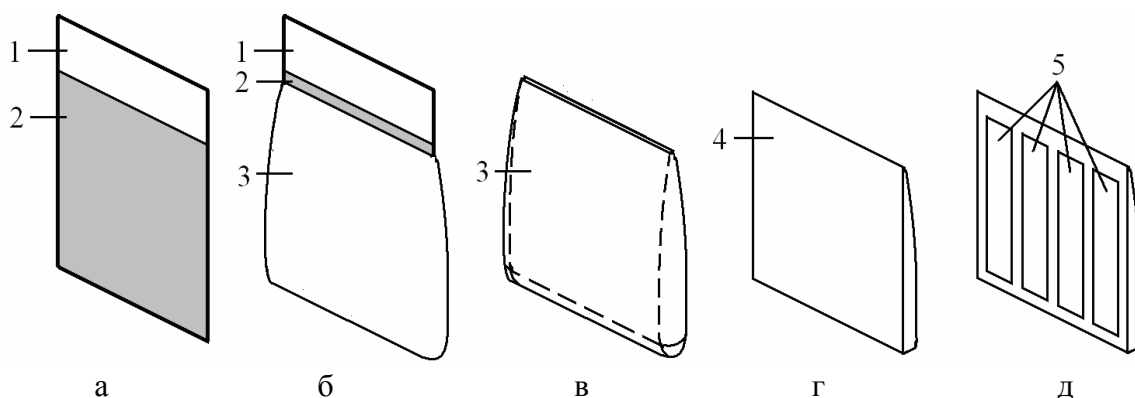


Рис. 1. Схема этапов подготовки КО к исследованиям на условную осыпаемость: 1 – пластина стеклянная; 2 – слой МС; 3 – КО; 4 – рабочая поверхность пластины, полученной после разрезки КО; 5 – ленты скотча на рабочей поверхности КО.

У прокалённых КО отрезали торцевые части (см. пунктирные линии на рис. 1.в), получая таким образом с каждой стеклянной пластины по две керамические пластины КО (см. рис. 1.г). Рабочие поверхности полученных керамических пластин тщательно обдували сжатым воздухом, не касаясь их руками.

Для проведения испытаний испытаний, из ленты скотча марки “Виготак” шириной 20 мм нарезают восемь полосок прямоугольной формы длиной 120 ... 130 мм, измеряли их длину с точностью 0,2 мм и определяли общую массу ($M_{\text{лн}}$) с точностью 0,0001 г. Взвешенные полоски скотча клейкой стороной без натяга и складок укладывали и прижимали пальцами руки к рабочей поверхности КО (см. рис. 1.д). После этого полоски скотча вручную снимали с поверхности КО и повторно взвешивали, определяя их общую массу – $M_{\text{лк}}$.

Величину условной осыпаемости КО рассчитывали по формуле, г/м^2 :

$$Oc = 10000 \cdot \frac{M_{ДК} - M_{ДН}}{F_{Д}}$$

где $F_{Д}$ – площадь клейкой поверхности всех использованных полосок скотча, m^2 .

Результаты определения величины условной осыпаемости рабочей поверхности исследованных КО приведены в табл. 1, а условия сушки их первого слоя и выплавления из КО модельного состава – в табл. 2.

Таблица 1. – Особенности изготовления и условная осыпаемость рабочей поверхности керамических оболочковых форм

n/n	Слой керамической оболочковой формы										Ос, г/м ²
	первый					второй и последующие слои					
	Связующее - раствори- тель (содержа- ние услов- ной SiO ₂ , в связую- щем мате- риале, % по мас- се)	M (M _{SiO2}),	ρ, г/см ³	наполнитель суспензии	обсыпочный материал	Связующее - раствори- тель (содержа- ние услов- ной SiO ₂ в связующем материале, % по массе)	M (M _{SiO2}),	ρ, г/см ³	наполнитель суспензии	обсыпочный материал	
1	К-В (24%)	(90)		Эл	Эл	К-В (24%)	(90)		Эл	Эл	1,22±0,0 7
2	К-В (24%)	(90)		ДС	Эл	К-В (24%)	(90)		ДС	Эл	1,27±0,0 8
3	Э-ЭАФ (22%)	0,55		Эл	Эл	Э-ЭАФ (22%)	0,55		Эл	Эл	1,33±0,0 8
4	Э-ЭАФ (22%)	0,55		ДС	Эл	Э-ЭАФ (22%)	0,55		ДС	Эл	1,52±0,0 8
5	Э-ЭАФ (22%)	0,55		ДС	Ш	Э-ЭАФ (22%)	0,55		ДС	Ш	1,57±0,0 7
6	Э-ЭАФ (22%)	0,55		КП	ПК	Э-ЭАФ (22%)	0,55		ПК	КП	2,20±1,0
7	ЖС-В (11%)	(3,1)	1,15	КП	ПК	Э-ЭАФ (22%)	0,55		КП	ПК	2,77±0,1 9
8	ЖС-В (11%)	(3,1)	1,15	КП	ПК	Ж-В (22%)	(3,1)	1,22	КП	ПК	3,57±0,2 7
9	ЖС-В (11%)	(3,1)	1,15	КП	ПК	Э-В (20%)	1,1		КП	ПК	4,31±0,1 4
10	Э-В (20%)	1,1		КП	ПК	Э-В (20%)	1,1		КП	ПК	7,52±0,2 5

Примечание. Обозначения в таблице соответствуют: М – мольное отношение H₂O/OR в гидролизованном растворе этилсиликата марки ЭТС-40; M_{SiO2} – силикатный модуль натриевого жидкого стекла; К – кремнезоль, Эл –

электрокорунд белый, Э – гидролизированный раствор этилсиликата марки ЭТС-40; ЭАФ – эфиральдегидная фракция; ДС – дистен-силлиманит пылевидный; Ш – шамот высокоглинозёмистый; П – кварц пылевидный; ПК – песок кварцевый; ЖС – стекло натриевое жидкое; В - вода

Таблица 2. Условия сушки первого слоя испытуемых керамических оболочковых форм и выплавления из них модельного состава

п/п*	Условия сушки первого слоя и выплавления модельного состава из КО
1, 2	Выдержка на воздухе (3 ч). Выплавление в водяном паре под давлением 6-7 бар и температуре 160-180 ⁰ С.
3, 4, 5	Выдержка на воздухе (3 ч), сушка в воздушно-аммиачной среде (15 мин), выдержка на воздухе (1 ч). Выплавление в водяном паре под давлением 6-7 бар и температуре 160-180 ⁰ С.
6	Выдержка на воздухе (1 ч), сушка в воздушно-аммиачной среде (15 мин), выдержка на воздухе (2 ч). Выплавление в воде при 95-98 ⁰ С.
7, 8, 9	Выдержка на воздухе (1,5 ч). Выплавление в горячем воздухе при 220-240 ⁰ С.
10	Выдержка на воздухе (3 ч). Выплавление в горячем воздухе при 220-240 ⁰ С.

Примечание. * - порядковые номера табл. 2 соответствуют порядковым номерам табл. 1.

УДК 621.74.042

Н. А. Жижкина, Ю. И. Гутько, Рюдигер Бэр

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Луганск; Магдебургский университет имени Отто фон Гюрике (Германия)

АНАЛИЗ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ В ВАЛКОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Конкурентоспособность продукции неразрывно связана с оптимизацией и развитием технологии ее изготовления, что обеспечивает высокое качество из-

делий с наименьшими затратами материальных, энергетических и трудовых ресурсов. В связи с этим актуальными для повышения надежности и эксплуатационной стойкости валков является разработка новых технологий их изготовления, а также совершенствование оборудования.

Опыт производства валков [1] показал, что изготовить одновременно износостойкое и прочное изделие возможно путем формирования рабочего слоя и сердцевины из материалов, отличающихся составом и физико-механическими свойствами. Для производства таких валков разработаны и внедрены разнообразные технологии: ковка, бандажирование, наплавка рабочего слоя, литье (в кокиль, под регулируемым давлением, с использованием электрошлакового переплава, непрерывно-циклическое (НЦЛ) или намораживанием) и другие. При изготовлении крупногабаритных валков обеспечить необходимую плотность и сплошность соединения между компонентами вдоль всей поверхности заготовки возможно с помощью литейных технологий: литье в составные формы; применение технологии комбинированного электродугового электрошлакового обогрева прибыли [1].

Вместе с тем расширить возможности в применении новых сложнолегированных сплавов для валков и обеспечить необходимый комплекс служебных свойств формующего инструмента в целом стало возможным благодаря созданию центробежной технологии литья. По сравнению с другими специальными видами литья, этот способ отличается универсальностью и эффективен для литья валков любого назначения [1].

В зависимости от размеров и исполнения валков разработаны специальные центробежные машины с вертикальной, горизонтальной, переменной или наклонной осями вращения. В качестве формы применяют кокильную систему, которую устанавливают в полость центробежной машины, где в поле действия центробежных сил выполняется ее заливка из передаточного ковша через специально управляемую литниковую систему [2-5]. Для оптимизации режима заливки были созданы и внедрены специальное устройство и технология для нанесения покрытия [3, 5]. Исследования [1] показали, что такое теплоизоляционное покрытие существенно уменьшает перепад температур по сечению кокиля, и, соответственно, температурные напряжения, что создает предпосылки для существенного увеличения их эксплуатационной стойкости.

Выводы.

В результате анализа различных технологических процессов изготовления крупногабаритных изделий установлено, что наиболее эффективным способом получения валков не только листо-, но и сортопрокатных станов, где требуется минимальный спад твердости по глубине рабочего слоя, является центробежное литье. Такой метод обеспечивает использование износостойких, но нетехнологичных в литье материалов, регулирование рабочего слоя и необходимый комплекс служебных свойств формирующего инструмента.

Список литературы

1. Жижкина Н. А. Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем: монография / Н. А. Жижкина. – Луганск: «Ноулидж», 2011. – 167 с.
2. Пат. 25292 Україна, МКІ 7 В 22D 13/04. Відцентрова ливарна машина: Пат. 25292 Україна, МКІ 7 В 22D 13/04 / М.А. Будаг`янц, В.І. Кондратенко, І.А. Балаклєєц [та ін.]; заявник та власник патенту Науково-технічне підприємство "Нові машини та технології". - № 97084244; Заявл. 15.01.98; Опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7.
3. Пат. 17027А Україна, МКІ В 22 D 155/04. Пристрій для нанесення теплоізоляційних покриттів: Пат. 17027А Україна, МКІ В 22 D 155/04 / М.А. Будаг`янц, В.І. Кондратенко, І.А. Балаклєєц [та ін.]; заявник та власник патенту Науково-технічне підприємство "Нові машини та технології". - № 95010299; Заявл. 20.01.95; Опубл. 18.03.97, Бюл. № 5.
4. Пат. 21316 А Україна, МКІ В 22 D 13/00. Форма для лиття валків відцентровим способом: Пат. 21316 А Україна, МКІ В 22 D 13/00 / М.А. Будаг`янц, В.І. Кондратенко, Ю.В. Дяченко [та ін.]; заявник та власник патенту Науково-технічне підприємство "Нові машини та технології". - № 97031064; Заявл. 11.03.97; Опубл. 30.04.98, Бюл. № 2.
5. Пат. 21317 Україна, МКІ С 23С 20/06 С 23С 18/12 //В 22D 25/06, В 22С 23/02. Спосіб нанесення теплоізоляційного покриття на кокілі для лиття чавунних прокатних валків: Пат. 21317 Україна, МКІ С 23С 20/06 С 23С 18/12 //В 22D 25/06, В 22С 23/02 / М.А. Будаг`янц, В.І. Кондратенко, І.А. Балаклєєц [та ін.]; заявник та власник патенту Науково-технічне підприємство "Нові машини та технології". - № 97031065; Заявл. 11.03.97; Опубл. 15.11.2000, Бюл. № 6.

МНОГОЦВЕТОВАЯ СПЕКТРАЛЬНО-КОМПЕНСАЦИОННАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Оптическая бесконтактная термометрия не имеет альтернативы для измерений температуры удаленных, движущихся, малогабаритных и др. объектов, а также широко применяется для термоконтроля металлических сплавов. Классические технологии двухцветовой пирометрии излучения могут быть использованы без калибровки на открытых расплавах в только в случае серого излучения. В других условиях возможности классической оптической термометрии ограничены известными проблемами излучательной способности (ε) и пропускания промежуточной среды (τ).

Новые термометрические технологии разработанные во ФТИМС НАН Украины повышают метрологические характеристики и расширяют область применения оптической термометрии для бесконтактного термоконтроля расплавов в условиях изменяющихся ε и τ . Спектрально-компенсационная многоцветовая термометрия основана на многоцветовой пирометрии излучения с оптимальной настройкой параметров системы, что позволяет исключить влияние нестабильности излучательной способности сплава, а также оксидных плен на его поверхности.

Технологии предлагаются для сложных термометрических условий металлургии и металлургии машиностроения, в том числе для непрерывного бесконтактного термоконтроля металлических расплавов в струе или в потоке на выпуске или сливе из металлургических агрегатов, а также заготовки под кристаллизатором, проката и проволоки при непрерывной разливке, прокатке и волочении металла.

Технологии защищены авторскими свидетельствами и патентами в Украине и СНГ. При промышленном использовании новые технологии термоконтроля обеспечивают световодные и бесконтактные измерения температуры с погрешностями, не превышающими 1%.

ОПТИЧЕСКИЙ НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВАКУУМНОЙ ПЛАВКИ

Технологические процессы получения и разливки расплавов в вакуумных печах, как правило, используются при производстве спецсплавов и изделий из них. Ввиду достаточно высокой стоимости металлопродукции температурный контроль расплава играет здесь первостепенную роль. Например, при производстве лопаток ГТД широко применяются вакуумные печи типа УППФ-3, где в качестве штатного средства контроля температуры используется устаревший радиационный пирометр ТЕРА-50.

С применением разработанных во ФТИМС НАН Украины методов и средств спектрально-компенсационной многоцветовой пирометрии излучения, а также промышленных контроллеров нового поколения был разработан и выполнен проект по модернизации системы контроля и управления печи УППФ-3. Пирометр ТЕРА был заменен на многоцветовую спектрально-компенсационную пирометрическую систему. Это позволило исключить влияние на результаты измерений нестабильности излучательной способности поверхности расплава, в том числе из-за появления оксидных плен, а конструктивное решение визирного окна практически исключило его запыление.

В результате модернизации была достигнута высокая точность термоконтроля. Среднее квадратическое отклонение показаний пирометрической системы от результатов образцовых термоэлектрических измерений температуры составило $4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, что не превышает допустимый для технологических измерений предел (1%).

Помимо переоснащения термометрическим оборудованием при модернизации осуществлена замена вторичных измерительных преобразователей на современные цифровые измерительные контроллеры для создания компьютеризированного диспетчерского пульта и системы регистрации и обработки технологической информации.

Таким образом, в результате проведенной модернизации печи УППФ-3 удалось повысить качество и точность контроля температуры расплава за счет

разработки новых конструкций и технологий спектрально-компенсационной многоцветовой пирометрии излучения, а также в целом повысить надежность системы контроля определяющих технологических параметров, за счет применения современных измерительных контроллеров и компьютерной обработки информации.

УДК 621.745.5.06./07:536.5

Л. Ф. Жуков, А. Л. Гончаров, В. В. Батальянец, Г. О. Антонов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНОВ

Установка (УТЭА-Ч) предназначена для оперативного определения содержания углерода, кремния и марганца в чугуне непосредственно в процессе получения и обработки жидкого металла.

УТЭА-Ч рекомендуется применять на предприятиях металлургии и металлургии машиностроения.

Принцип действия установки основан на зависимости термо-ЭДС в термоэлектрической цепи «горячий электрод – анализируемый образец» от химического состава образца.

УТЭА-Ч состоит из первичного термоэлектрического модуля (ПТМ) и вторичного микропроцессорного преобразователя (ВМП).

ПТМ формирует следующие сигналы:

- термо-ЭДС, обусловленной составом образца;
- момента контакта с анализируемым образцом;
- текущего теплового состояния горячего электрода (ГЭ).

ВМП обеспечивает:

- измерения термо-ЭДС в термоэлектрической цепи ПТМ «горячий электрод – анализируемый образец»;
- анализ достоверности измерений и накопление необходимой выборки измерений термо-ЭДС;
- вычисление по полученной выборке термо-ЭДС содержания C, Si, Mn;
- контроль функционирования ПТМ и управление тепловым состоянием ГЭ;

- контроль последовательности операций при проведении экспресс-анализа пробы;
- индикацию результатов анализа и сообщений.

На рис.1 приведена электрическая схема установки.

В состав ПТМ входят ГЭ, каретка с подложкой для образцов и холодным электродом (ХЭ), механизм привода и станина. Внутри ГЭ расположены нагреватель (Н) и термопреобразователь (ТП) для контроля и регулирования температуры ГЭ.

ВМП выполнен в пылезащитном корпусе и монтируется в пульт или щит. На лицевой панели расположены клавиатура, цифровой индикатор и вспомогательные индикаторы. Лицевая панель герметично закрыта защитной пленкой.

Установка работает следующим образом:

После включения УТЭА-Ч и нагрева ГЭ в течение 30 мин. до рабочей температуры установка готова к работе и может находиться в режиме готовности любое время.

Подготовленные для анализа образцы чугуна (серый, белый и пестрый) поочередно устанавливаются на подложку установки, на которой к противоположным торцам образца прижимаются ГЭ и ХЭ. Термо-ЭДС в образованной измерительной цепи фиксируется ВМП. После проведенных измерений ВМП проводит расчет процентного содержания углерода, кремния и марганца и результаты расчета индицируются на цифровом индикаторе.

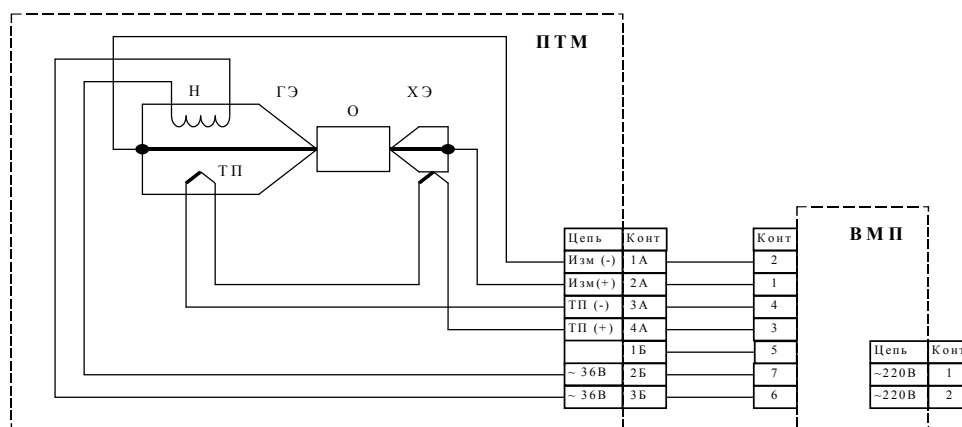


Рис.1. Электрическая схема УТЭА-Ч

УТЭА-Ч имеет ряд преимуществ по сравнению с предыдущими решениями, в том числе более высокую чувствительность ПТМ, сходимость результатов анализа и эксплуатационный ресурс ГЭ, а также существенно уменьшенные габариты и вес.

**Л. Ф. Жуков, А. Л. Гончаров, А. Б. Бунза,
В. В. Дроздовский, В. В. Батальянец, Г. О. Антонов**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ И ОПТИЧЕСКИЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА

Оснащение металлургических и нагревательных печей и агрегатов малой емкости и производительности стационарными системами непрерывного автоматического термоконтроля не всегда технически и экономически оправдано. Наиболее целесообразным здесь является периодический контроль температуры переносными контактными и бесконтактными термометрами. Для реализации такого контроля ФТИМС НАН Украины разработан комплекс переносных термоэлектрических и оптических термометров.

Комплекс построен по модульному принципу на единой элементной базе и предназначен для периодического контроля температуры твердых, жидких и газовых сред, в том числе металлических расплавов и сплавов, в металлургическом и литейном производствах.

Методы термометрии основаны на:

- погружении контактных термопреобразователей в термометрируемую жидкую или газовую среду или механическом их контакте с твердой термометрируемой поверхностью;
- бесконтактной пирометрии излучения термометрируемой поверхности в зонах и спектральных диапазонах с наиболее стабильными излучательными характеристиками и пропусканием промежуточной среды с последующей, повышающей точность измерений, обработкой пирометрической информации.

Термометры состоят из универсального микропроцессорного вторичного измерительного преобразователя с автономным источником питания и встроенным индикатором температуры и специализированных термопреобразователей.

Термопреобразователи обеспечивают использование термометров в условиях объектов контроля и преобразование измеряемой температуры в электрический сигнал.

Указанные типы термометров имеют общую модификацию с запоминанием 110 значений измеренных температур. 10 последних значений находятся в

оперативной памяти и доступны для просмотра на встроенном индикаторе, а 100 предыдущих сформированы в памяти термометра в виде протокола. Содержание протокола может быть выведено на компьютер через последовательный COM-порт.

При промышленном использовании термометры обеспечивают контроль температуры в диапазоне от -50 до $+2500^{\circ}\text{C}$ с погрешностями, в большинстве случаев, не превышающими 0,5% и управление тепловыми технологическими процессами, что позволяет снизить энергозатраты и угар шихтовых материалов, исключить брак и аварии, обусловленные нарушением температурных режимов, повысить срок службы футеровки и производительность теплотехнического технологического оборудования.

УДК 621.745.5.06/.07:536.5

Л. Ф. Жуков, Э. В. Захарченко, Е. А. Сиренко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНА

Для стабильного получения качественного литого металла с заданными свойствами необходимо экспрессно по ходу плавки контролировать температуру, химический состав и ряд технологических характеристик.

1. Термографический экспресс-анализ (ТГА) основан на интерпретации характеристик термограмм охлаждения небольших масс металла (обычно 200-300г; длительность затвердевания - около 2мин.). Обсуждаются состояние и пути повышения точности этого экспрессного и недорогого метода. Подчеркивается, что ТГК- методу, имеющему богатую историю, в настоящее время нет адекватной альтернативы.

2. В чугунолитейном производстве ТГА чаще всего используется для контроля содержания углерода и кремния, углеродного эквивалента, структуры металлической основы и формы графита и реже - некоторых физико-механических и технологических в том числе усадочных свойств. С помощью ТГА контролируют степень инокулирования и модифицирования литых алюминиевых сплавов, содержание фосфора в медно-цинковых сплавах, а также низ-

кие содержания углерода в низколегированных сталях и количество карбидов в износостойких сталях. Используют ТГА и при литье сплавов никеля и кобальта.

3. Несмотря на большое число исследований в области ТГА остаются все же неясными и спорными некоторые важные его стороны, особенно касающиеся точности и воспроизводимости, формы и интерпретации термограмм охлаждения. Даже крупнейшие мировые компании, давно специализирующие на выпуске аппаратуры для ТГА, производят пробницы неоптимальной конструкции, используют математические модели, недостаточно учитывающие влияние сопутствующих и неконтролируемых химических элементов на термограммы охлаждения чугунов.

4. Систематизируется и анализируется с использованием мирового опыта влияние различных факторов на метрологические характеристики ТГА (электропитания приборов; защиты от электромагнитных помех в термоэлектрических цепях; химического состава сплава; конструкции пробоотборника; термической защиты термопар; надежности химических анализов, используемых для проверки метрологических характеристик ТГА; надежности микропроцессорной аппаратуры; достоверности программ обработки результатов ТГА и др.). О важности термоконтроля для ТГА свидетельствует то, что погрешность измерений температуры чугуна в 1°C приводит к погрешности определения содержания углерода около 0,01%, а кремния - 0,08%.

5. На основе анализа перечисленных факторов разработаны практические рекомендации, которые в чугунолитейном производстве могут обеспечить экспериментально подтвержденную погрешность ТГА на уровне 0,03% для углерода и 0,03% для кремния. Это сравнимо с погрешностью определения углерода методом сжигания (0,035%). В Физико-технологическом институте металлов и сплавов Национальной Академии наук (г. Киев) за последние пятьдесят лет накоплен значительный опыт в области ТГА. В настоящее время выполняются работы по модернизации ТГА чугунов. Разрабатываются новые компактные конструкции пробоотборников, оптимизируется размещение и термоизоляция термопар, создаются новые усовершенствованные алгоритмы и программы математической обработки термограмм охлаждения чугунов. Особое внимание обращается на повышение точности и чувствительности, а также снижение инерционности измерений температуры, определение степени точности корреляции между формой термограммы охлаждения на участках ее перегиба и характеристиками металлографической структуры чугунов.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

В настоящее время используются два основных подхода к термографическому экспресс-анализу металлических сплавов, основанных на классических законах теплообмена Ньютона и Фурье: Ньютоновский (НТА) и Фурье (ФТА) термоанализ соответственно. Несовершенство существующих методик приводит к чрезмерному разбросу полученных результатов. Поэтому разработка адекватных методик остается весьма актуальной.

В укоренившихся методиках НТА, в котором обычно используется одна термopара размещенная в геометрическом центре по оси симметрии образца, рекомендуется применять так называемую «нулевую линию» Z_N , которую с помощью экстраполяции представляют в виде температурной кривой типа $T = A \cdot \exp(-Bt)$ между началом и концом затвердевания (A и B определяют из данных кривой охлаждения). Точность количественного определения структурных составляющих с использованием нулевой линии достаточна для практического использования. Например, по работы [1], относительная погрешность определения объемной доли первичной фазы на примере сплава Pb-71,5%Sn составила 4,5% (по данным количественного металлографического анализа - 2,2%); эвтектической фазы – 4,1% (металлографический анализ - 2,1%); в сплаве Pb-88%Sn – соответственно 2,0% (металлографический анализ - 1,5%) и 9,3% (металлографический анализ - 7,9%). Однако эта концепция исключает возможность анализа одновременного формирования нескольких различных фаз. На практике фактор наличия существенного отрицательного влияния градиентов температур в образце преувеличен и некоторый перепад температур (до 6 град для алюминиевых сплавов) допускается.

В методике НТА без использования «нулевой линии», темп теплоотвода определяется термическим сопротивлением на границе образца согласно уравнению теплового баланса:

$$C_L \frac{\partial T}{\partial \tau} = L_s \frac{\partial f_s}{\partial \tau} - \alpha_\infty \frac{(T - T_\infty)}{M} \quad (1)$$

где C_L C_L - объемная теплоемкость жидкости, Дж/(м³·°C); $\frac{\partial T}{\partial \tau} \frac{\partial T}{\partial \tau}$ - темп охлаждения, °C/сек; L_S – объемная латентная теплота затвердевания, Дж/м³; α_∞ α_∞ - переменный коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности образца, задают в виде функции времени для каждой пробы металла Вт/(м²·°C·сек); $\frac{\partial f_S}{\partial \tau} \frac{\partial f_S}{\partial \tau}$ - темп формирования твердой фазы, 1/сек; T – мгновенная температура образца, °C; T_∞ T_∞ - температура окружающей среды, °C; $M=V/F$ – так называемый модуль образца, м; (V – объем, F – поверхность теплоотдачи). Форма кривой $\frac{\partial f_S}{\partial \tau}$ позволяет определить тип полученного чугуна, например ЧШГ и ЧПГ.

Для методики термоанализа Фурье уравнение теплового баланса, как известно, имеет вид:

$$C_{L,S} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = K \nabla^2 T + L_S \frac{\partial f_S}{\partial \tau} C_{L,S} \frac{\partial T}{\partial \tau} = K \nabla^2 T + L_S \frac{\partial f_S}{\partial \tau}, \quad (2)$$

где $\nabla^2 T$ – оператор Лапласа (°C/ см²).

Обе методики обеспечивают корректные результаты, позволяют одинаково точно рассчитывать латентную теплоту затвердевания и кинетику выделения твердой фазы в случае тонкостенных стальных пробниц. Однако НТА дает только усредненную информацию по образцу в целом, а ФТА позволяет оценить локальную кинетику.

Современные методики термографического экспресс-анализа позволяют исследовать процессы затвердевания, прогнозировать структуру, химический состав и некоторые свойства литых сплавов, но требуют доработки, уточнения и проверки в каждом конкретном случае промышленного производства фасонных отливок из металлических сплавов.

Список литературы

1. Cruz H., Gonzalez C., Juarez A., Herrera M., Juarez J. Quantification of the microconstituents formed during solidification by the Newton thermal analysis method. – Journal of Materials Processing Technology. 2006, vol.178, p.128-134

ОСНОВАННЫЕ НА НЕПРЕРЫВНОМ ТЕРМОКОНТРОЛЕ РЕСУРСО - И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ ПЛАВКИ И ВЫДЕРЖКИ МЕТАЛЛА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

В результате исследований комплексного влияния металлургических и энергетических параметров разработаны основанные на непрерывном температурном контроле энергосберегающие высокопроизводительные процессы плавки металла в индукционных тигельных печах. Предлагаемое управление обеспечивает стабильное получение качественного жидкого металла при минимально возможных ресурсо- и энергозатратах и максимальной производительности процессов за счет оптимального сочетания значений определяющих параметров: мощности, массы зумпфа и доз шихты, режимов и очередности загрузки шихтовых материалов, температуры наплавления печи металлом. Методы основаны на комплексном контроле и управлении температурными, загрузочно-разгрузочными и энергетическими режимами плавки

Плавка чугуна в литейном производстве часто проводится в ошлакованных печах. Поэтому особый практический интерес представляет разработка режимов управления процессами выплавки металла в таких условиях. В результате проведенных исследований было установлено, что ошлакование не только количественно, но и качественно изменяет воздействие металлургических и энергетических параметров на энергозатраты и производительность индукционной плавки. Полученные результаты использованы при разработке управления выплавкой металла в ошлакованных печах, которое принципиально, по указанной выше причине, отличается от управления для чистых печей.

Процессы плавки позволяют уменьшить удельные энергозатраты и поднять производительность печей, соответственно на 20 – 40 и 40 – 50%. Например, минимально возможные удельные энергозатраты при выплавке и перегреве до 1400°С чугуна в печах типа ИЧТ-10 с мощностью 2,5 мВт достигают 434кВт·ч/т.

Удельные энергозатраты индукционной плавки чугуна на многих заводах повышаются на 100 – 200 кВт·ч/т из-за простоя участков разливки металла. Ав-

торы известных работ подчеркивают актуальность, но не дают решений этой проблемы. Результаты выполненных во ФТИМС исследований позволили разработать новые процессы миксерования металла и значительно снизить указанные энергозатраты при технологической выдержке расплава, а также в нерабочие смены и дни. Для разработки использованы результаты исследований влияния металлургических и энергетических параметров на энергозатраты термостатирования металла в индукционных тигельных печах. Режимы позиционного и непрерывного термостатирования расплава в печах за счет оптимальных значений массы расплава в тигле, температуры непрерывного термостатирования, ширины зоны нечувствительности позиционного термостатирования, напряжения на индукторе и массы расплава в тигле обеспечивают снижение общих и удельных энергозатрат соответственно на 38; 76% и 65; 54%. Рекомендованный, связанный с заполнением тигля, выбор позиционного или непрерывного термостатирования металла соответственно снижает общие и удельные энергозатраты не менее, чем на 12 и 58%.

Разработанные методы управления способствуют повышению ресурса футеровки за счет изотермической эксплуатации печи и оптимального, связанного с температурой термодинамического равновесия основной металлургической реакции, значения температуры термостатирования, уменьшающего ошлакование и разгар тигля.

УДК 536.521.3

Л.Ф. Жуков, А.Л. Корниенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ СИММЕТРИЧНО- ВОЛНОВОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Перспективность симметрично-волновой пирометрии излучения (СВПИ) определяется в том числе значительно более низкими по сравнению с остальными многоцветовыми, и тем более классическими, методами погрешностями измерений. Установлено, что для нецветных металлов и их сплавов домини-

рующие в оптической термометрии методические погрешности СВПИ в 6-8 раз ниже погрешностей известных методов полихроматической пирометрии излучения. Такие высокие метрологические характеристики СВПИ значительно расширяют область ее использования в наиболее сложных термометрических условиях металлургии, которые в основном определяются случайно изменяющимися коэффициентами излучательной способности (ϵ) и пропускания промежуточных сопутствующих и специальных сред. Влияние промежуточных сред, как правило, менее проблематично и исключается с помощью продуваемых фурм или использованием рабочих спектральных диапазонов со стабильным пропусканием. Одним из наиболее простых методов СВПИ является линейная симметрично-волновая пирометрия излучения, методические погрешности которой равны нулю в случае линейных термодинамически равновесных, серых, возрастающих и спадающих спектральных распределений излучательной способности. Реальные распределения излучательной способности металлов и их сплавов в наиболее приемлемых для оптической термометрии спектральных диапазонах отклоняются от указанных линейных. Поэтому для оптимизации оптических характеристик симметрично-волновой пирометрии излучения принципиальным является исследование влияния этих отклонений на погрешности линейной СВПИ и определение допустимых пределов отклонений, при которых обеспечивается требуемая точность измерений температуры. Для количественной оценки излучательных характеристик нами предложен коэффициент нелинейности

$$K_n = \epsilon_2 - \epsilon_{2л},$$

где ϵ_2 – излучательная способность сплава на длине волны λ_2 ;

$\epsilon_{2л}$ – излучательная способность сплава на длине волны λ_2 для линейно аппроксимированного распределения $\epsilon_{л} = f(\lambda)$.

Термометрические характеристики металлических сплавов количественно определяются также коэффициентом крутизны спектральных распределений излучательной способности K_k и диапазоном излучательной способности $\Delta\epsilon$.

$$K_k = (\epsilon_3 - \epsilon_1) / (\lambda_3 - \lambda_1), \text{ м}^{-1},$$

где ϵ_3 и ϵ_1 – значения излучательной способности сплава соответственно на длинах волн λ_3 и λ_1 .

$\Delta\epsilon$ определяется значениями излучательной способности на граничных длинах волн, т.е. на λ_1 и λ_3 .

Здесь авторы приводят результаты исследований влияния на методические погрешности линейной СВПИ основной количественной характеристики K_n , а также K_k и $\Delta\lambda$, при различных значениях остальных оптических характеристик систем пирометрии излучения, в том числе:

- спектрального диапазона $\lambda_3 - \lambda_1$, задающего $\Delta\lambda = (\lambda_3 - \lambda_1) / 2$, мкм;
- длины средней волны λ_2 , мкм.

Исследования выполнены для указанных линейных и возможных на различных участках спектра нелинейных распределениях излучательной способности, в том числе:

- спадающих выпуклых (СВП);
- возрастающих выпуклых (ВВП);
- спадающих вогнутых (СВГ);
- возрастающих вогнутых (ВВГ).

Для исследований в качестве базового СВГ-распределения выбрано наиболее изученное в термометрии, оптике металлов и светотехнике, а также детально представленное в литературе экспериментальное распределение излучательной способности вольфрама. Для СВГ-, ВВП- и ВВГ-распределений использовали соответствующие зеркальные отображения СВГ-распределения.

В результате исследований установлено доминирующее воздействие спектральных распределений излучательной способности и их нелинейности на погрешности многоцветовой линейной симметрично-волновой пирометрии излучения металлических сплавов. Погрешности характерных для нецветных и цветных металлов и их сплавов спадающих выпуклых распределений излучательной способности соответственно в видимой и ближней инфракрасной, а также видимой областях спектра минимальны и не превышают 0,5 %. В исследованных условиях погрешности известных многоцветовых и классических методов превышают это значение в несколько раз. Для возрастающих вогнутых распределений погрешности максимальны и при тех же нелинейностях достигают 1,3 %. В случаях линейных или близких к ним распределений погрешности равны или приближаются к нулю. Прямое воздействие коэффициента крутизны спектральных распределений излучательной способности отсутствует. Однако при этом установлено косвенное влияние этой характеристики через относительную линейность и излучательную способность, встречное воздействие которых вызывает незначительные, до 0,14 %, погрешности. С повышением излучательной способности в исследованном диапазоне ее значений погрешности

трехволновой СВПИ на $\square_1 = 0,5$; $\square_2 = 0,8$ и $\square_3 = 1,1$ мкм уменьшаются от 0,6 до 0,3% при 0,5% для СВП-распределения. Для аналогичных значений излучательной способности от 0,26 до 0,87, ее распределения и спектрального диапазона погрешности методов классической энергетической одноцветовой и спектрального отношения двухцветовой пирометрии излучения находятся соответственно в пределах 4 – 11 и 1,3 – 3,4 %. Погрешности известных методов многоцветовой пирометрии излучения в случае СВПw-распределения составляют 1,4 – 1,9%. Доказана перспективность линейной симметрично-волновой пирометрии излучения для термоконтроля металлов и их сплавов, а также в большинстве случаев для оксидов, карбидов, боридов, нитридов, силицидов и других материалов имеющих спадающие выпуклые распределения излучательной способности.

УДК 536.521.3

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРМОМЕТРИИ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

Известно, что погрешности измерений температуры классическими энергетическими и спектрального отношения методами пирометрии излучения в основном определяются методическими составляющими. По уровню инструментальных метрологических характеристик современная классическая оптическая термометрия не уступает, например, термоэлектрическим измерениям температуры, а во многих случаях даже значительно превосходит их и поэтому используется для эталонных измерений и построения температурных шкал. Переход от классической к многоцветовой пирометрии излучения позволяет существенно уменьшить методические погрешности и в этом основной смысл такого перехода. Однако, обычно снижение методических погрешностей многоцветовой пирометрии излучения достигается при явном ухудшении ее инструментальных составляющих. Это, как правило, предъявляет высокие требования к метрологическим характеристикам получения первичной пирометрической

информации, в том числе к точности измерений исходных одноцветовых температур излучения. В некоторых известных многоцветовых методах погрешности таких измерений должны быть на порядок ниже допускаемых погрешностей термоконтроля. Инструментальная составляющая погрешностей многоцветовой пирометрии излучения определяется количеством рабочих волн. Чем меньше это количество, тем ниже инструментальные погрешности. Каждый метод многоцветовой пирометрии излучения имеют свою связь его метрологических характеристик с количеством рабочих волн и погрешностями измерений одноцветовых температур на них. Чем слабее эта связь, тем совершеннее метод. Именно с учетом этого в многоцветовой симметрично-волновой пирометрии излучения (СВПИ) наиболее рационально использовать три минимально возможные рабочие волны λ_1 , λ_2 и λ_3 . Однако вопрос влияния погрешностей измерений исходных трех одноцветовых температур на метрологические характеристики многоцветовой СВПИ остается и для практического ее использования должен быть изучен.

Одноцветовые температуры излучения S_1 , S_2 и S_3 являются первичной пирометрической информацией для СВПИ. Погрешность измерений этих температур ($\delta_{\text{ИЗМ}}$) определяется выражением

$$\delta_{\text{ИЗМ}} = \delta_{\text{ИНС}} + \delta_{\text{МЕТ}},$$

где $\delta_{\text{ИНС}}$ – инструментальная составляющая $\delta_{\text{ИЗМ}}$;

$\delta_{\text{МЕТ}}$ – методическая составляющая $\delta_{\text{ИЗМ}}$.

В нашем случае $\delta_{\text{МЕТ}} = 0$ и $\delta_{\text{ИЗМ}} = \delta_{\text{ИНС}}$. Следовательно здесь целесообразно говорить только об инструментальных погрешностях измерений этих исходных температур, которые в свою очередь определяют инструментальные погрешности СВПИ. Как было отмечено, инструментальные метрологические характеристики современной энергетической одноцветовой пирометрии сопоставимы или даже превышают характеристики термоэлектрической термометрии. Поэтому для исследований инструментальных погрешностей многоцветовой СВПИ были использованы значения относительных погрешностей для температур излучения 0,2; 0,5 и 1,0%. Указанные погрешности со значительным запасом перекрывают реальные погрешности измерений S_1 , S_2 и S_3 .

В результате выполненных исследований установлены закономерности качественного и количественного влияния погрешностей измерений исходных одноцветовых температур излучения на инструментальные погрешности симметрично-волновой термометрии металлических сплавов. Установлено, что для

наиболее характерных спадающих выпуклых распределений излучательной способности металлов и их сплавов в видимой и ближней инфракрасной областях спектра инструментальные погрешности симметрично-волновой термометрии в реальных условиях не превышают погрешности исходных измерений температур излучения. С увеличением погрешностей измерений исходных одноцветовых температур излучения инструментальные погрешности симметрично-волновой термометрии повышаются. Причем, минимальные инструментальные погрешности имеют место в случае наиболее характерных для условий металлургии, равных погрешностях измерений исходных одноцветовых температур излучения металлических сплавов. Кроме того, за счет компенсации методическими составляющими инструментальных погрешностей симметрично-волновой термометрии ее погрешности измерений существенно снижаются. Это определяет явные преимущества симметрично-волновой пирометрии излучения перед остальными известными методами многоцветовой термометрии. При использовании симметрично-волновой термометрии для бесконтактного и световодного термоконтроля металлов и их сплавов необходимо исключать селективное поглощение регистрируемого на рабочих длинах волн теплового электромагнитного излучения соответственно сопутствующими и специальными промежуточными средами.

УДК 536.521.3

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

МНОГОЦВЕТОВАЯ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Термоконтроль доминирует и составляет около 30% в метрологическом обеспечении металлургии. При этом использование оптической термометрии во многих случаях является безальтернативным, в том числе для измерений температуры движущегося металла, малогабаритных объектов и непрерывного контроля высокотемпературных процессов. Тем не менее, широкое распространение оптических измерений ограничивается известными проблемами из-

лучательной способности (ε) и пропускания промежуточной среды (τ), особенно при их случайных изменениях.

В результате выполняемых ФТИМС НАНУ исследований установлено, что увеличивая количество длин волн, т.е. переходя от классической к многоцветовой пирометрии излучения можно значительно расширить возможности оптической термометрии и прежде всего для наиболее распространенных окрашенных тел. Эти возможности следуют из пирометрического уравнения многоцветовой оптической термометрии

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{S_m} = \frac{\lambda_\varepsilon}{c_2} \ln \varepsilon_\varepsilon, \quad (1)$$

где λ_ε – эквивалентная длина волны, м;

ε_ε - эквивалентная излучательная способность термометрируемой поверхности;

$S_{\text{плц}}$ - многоцветовая температура излучения термометрируемой поверхности n -го порядка, К.

Например, при $n=3$ $\varepsilon_\varepsilon = \varepsilon_1 \varepsilon_3 / \varepsilon_2^2$ и $\lambda_\varepsilon = 1 / (\lambda_1^{-1} - 2\lambda_2^{-1} + \lambda_3^{-1})$,

$n=4$ $\varepsilon_\varepsilon = \varepsilon_1 \varepsilon_4 / \varepsilon_2 \varepsilon_3$ и $\lambda_\varepsilon = 1 / (\lambda_1^{-1} - \lambda_2^{-1} - \lambda_3^{-1} + \lambda_4^{-1})$ и т.д.

Анализ этого уравнения, и прежде всего его эквивалентных параметров ε_ε и λ_ε , определяет основополагающие направления развития многоцветовой оптической термометрии. Выполненные ранее для исключения методических погрешностей разработки и сложные математические преобразования в итоге сводятся к решению несформулированных прежде задач – определению таких значений длин волн для реальных яркостей или корректировок на фиксированных волнах спектральных яркостей термометрируемого объекта, при которых его эквивалентная излучательная способность равна единице.

Бурное развитие и современное состояние оптических и электронных технологий, в том числе оптоэлектронных, волоконно-оптических, микропроцессорных и компьютерных способствуют значительному снижению инструментальных погрешностей пирометрических систем и стимулируют разработку новых направлений многоцветовой пирометрии излучения. В настоящее время оптическая термометрия по инструментальной точности не уступает термоэлектрической. Поэтому погрешности безальтернативных во многих случаях оптических, в том числе многоцветовых измерений температуры определяются исключительно методическими составляющими, которые в свою очередь в основном предопределяются неизвестными и случайно изменяющимися значе-

ниями излучательной способности термометрируемых объектов и пропусканием промежуточных сред.

В результате исследований влияния оптических спектральных характеристик термометрируемых объектов и пирометрических систем на эквиваленты определяющих параметров и многоцветовые температуры излучения установлено, что измеренные на симметрично распределенных рабочих длинах волн одноцветовые температуры излучения обеспечивает априорную информацию об излучательной способности на средних длинах волн для термометрируемых объектов с различными монотонными спектральными распределениями.

На базе установленных физических закономерностей разработаны симметрично-волновые методы оптической термометрии. Методы используют переносимую излучением информацию о спектральном распределении излучательной способности металлических сплавов при симметричном расположении по спектру длин рабочих волн многоцветовой пирометрической системы.

Метрологические характеристики многоцветовых симметрично-волновых методов исследованы на линейных и нелинейных выпуклых и вогнутых, с различными, перекрывающимися коэффициенты нелинейности и крутизны реальных объектов, распределениями излучательной способности в спектральном диапазоне от 0,5 до 1,1 мкм, при температурах 1400 – 1900 К. Погрешности симметрично-волновых методов не превышают 0,3 %.

УДК 621.745.5.06/.07:536.5

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко, В.В. Дроздовский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НА ВЫПУСКЕ ИЛИ СЛИВЕ ИЗ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ И АГРЕГАТОВ

Для контроля и управления температурным режимом ваграночной плавки достаточно непрерывно измерять температуру чугуна на выпуске. Значительная инерционность вагранок позволяет измерять температуру расплава в сифоне пирометром излучения с погружаемой в расплав цилиндрической моделью АЧТ. Такое решение целесообразно использовать для непрерывной термометрии чугуна с температурами выпуска близкими к температурам термоди-

намического равновесия основной металлургической реакции. Чугун в этом случае в различной, зависящей от температуры, состава и перемешивания, степени покрыт оксидными пленами, нарушающими однозначную связь между условными и действительными температурами. Если температура выпускаемого чугуна превышает равновесную температуру, то для контроля лучше использовать двухканальную микропроцессорную бесконтактную пирометрическую систему. В этом случае пирометрический преобразователь, в соответствии с разработанным методом, визируется на начало потока расплава на желобе непосредственно у сифона.

Известны методы измерений температуры чугуна на выпуске из стационарного копильника вагранки, заключающийся в том, что пирометр излучения визируется на поток расплава на желобе или на струю (снизу, сбоку) у носка желоба. Однако, проведенные нами исследования показывают неоптимальность этих методов. В результате исследований температурных полей участков поверхности расплава, доступных для пирометров излучения, установлено, что наиболее стабильную излучательную способность имеет участок струи непосредственно у летки. Для уменьшения погрешности измерений температуры предложено визировать пирометр на этот участок струи с помощью специальной разработанной фурмы. По температурной диаграмме можно, кроме температуры, контролировать производительность агрегата, ритмичность работы, простои и нарушения технологии, в частности, слив шлака в ковш.

Чугун из вагранок по третьей схеме выпускается непрерывно через открытый желоб. Наиболее приемлемым в этом случае является бесконтактный метод, заключающийся в том, что пирометрический преобразователь визируется на струю непосредственно у летки вагранок.

Ранее предложены методы непрерывного измерения температуры жидкого чугуна на сливе из электродуговых печей, заключающиеся в том, что пирометрический преобразователь визируется на струю расплава у носка желоба.

Печи имеют сифон для разделения чугуна и шлака, поэтому поверхность потока расплава на желобе свободна от шлака. Это позволяет в соответствии с разработанным нами методом располагать преобразователь над желобом печи и визировать его сверху на поток расплава. При таком расположении преобразователь более удобен в эксплуатации, выше надежность его работы. Кроме того, установлено, что поверхность потока расплава на желобе печи имеет бо-

лее стабильную излучательную способность, чем поверхность струи у носка желоба.

Яркостная температура расплава имеет достаточно тесную однозначную связь с его действительной температурой только на определенных этапах слива, на которых и следует обеспечить контроль. С этой целью бесконтактные пирометрические системы комплектуются релейной приставкой. Над желобом печи установлен вытяжной зонт, поэтому для повышения эффективности применения сжатого воздуха фурма преобразователя имеет удлиненную насадку. Для сглаживания пульсации показаний и записи температуры применена интегрирующая приставка.

Для полного использования технологических возможностей электродуговых печей необходим непрерывный контроль температуры чугуна непосредственно по ходу плавки в самом тигле. Периодический режим эксплуатации печей исключает применение, единственно возможных для такого контроля, световодных методов и средств.

Для технической реализации описанного бесконтактного метода можно использовать двухканальную систему, которая по термоэлектрическому каналу с помощью термопреобразователя погружения обеспечивает периодические измерения температуры жидкого чугуна в процессе перегрева и по пирометрическому каналу контролирует этап слива металла. Электродуговые печи с основной футеровкой часто используются для перегрева ваграночного металла при производстве отливок из ковкого чугуна. В этом случае чугун часто сливается из печи (примерно 1 раз в 5 минут) и автоматически обеспечивается практический непрерывный температурный контроль по пирометрическому каналу.

Непрерывный контроль температуры чугуна на выпуске из вагранки позволяет вагранщику изменением подачи дутья и кокса выдерживать заданный температурный режим плавки. Стабилизация температуры выпускаемого металла из вагранки и электродуговых печей обеспечивает требуемый температурный режим разливки. В комплексе стабилизация температурных режимов процессов получения и разливки ваграночного чугуна снижает уровень брака, расход кокса, угар шихты и амортизацию футеровки.

Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ТЕРМОКОНТРОЛЬ В СТРУКТУРЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Измерения основного технологического параметра – температуры доминируют в структуре метрологического обеспечения металлургии. Важно контролировать интенсивность и время температурного воздействия на основные и вспомогательные материалы, так как это определяет качество металлопродукции и ресурсозатраты на ее производство. Из-за несовершенства или отсутствия температурного контроля значительно повышается брак готовой продукции, расход шихтовых и футеровочных материалов, энергозатраты в 1,5-2,0 и более, раз превышают возможные.

Бурное развитие измерительной техники в металлургии за последние 30 лет было вызвано потребностями создания новых автоматизированных технологических процессов для получения высококачественной металлопродукции при минимально возможных ресурсозатратах. По состоянию на 1991 год, на металлургических предприятиях Кавасаки Сэйтецу (Япония) 28,9% всех средств измерений использовались для термоконтроля, 23,2% – для измерений и контроля расхода, 18,8% - давления, 10,1% - уровня, 5,2% - химического состава, 3,9% – степени открытия, 3,6% - массы, 1,0% - вибраций, 0,8% - усилий, 0,7% - размеров, 0,6% - положений и 3,2% - других параметров. Данная структура метрологического обеспечения металлургии остается практически неизменной на протяжении последних 40 лет. [1-4]

Развитие направлений термоконтроля оценено по количеству публикаций, посвященных разработке методов и средств измерений температуры, а также их практическому использованию в производственных условиях. [5] Проанализировано 2535 работ, 90% которых опубликованы за период с 1973 по 2010 год. Главными направлениями развития термоконтроля являются оптическое и термоэлектрическое. Контактные методы реализуются с помощью термопар, а оптические – на базе различных «классических» типов пирометров излучения, а также световодных и многоцветовых пирометрических систем. [6,7]

В результате проведенного анализа установлено, что:

- в структуре метрологического обеспечения металлургических предприятий на долю термометрии приходится около 30% применяемых средств измерений;
- 65,6% публикаций посвящено оптической термометрии, а - 34,4% термоэлектрической термометрии. 77% публикаций принадлежат СССР(России), ФРГ, Великобритании, Японии и США;
- наиболее наукоемкий непрерывный термоконтроль доминирует в структуре термометрических исследований (78,2%), причем 80% здесь занимает оптическая термометрия. Распределение публикаций по направлениям оптической термометрии отражают их развитие в соответствии с техническими возможностями элементной базы;
- в периодическом термоконтроле доминирует термоэлектрическая термометрия. Дальнейшее ее развитие связано с роботизацией, повышением экспрессности и снижением стоимости однократных периодических измерений температуры. Для периодического оптического термоконтроля перспективным является применение портативных двухцветовых пирометров;
- наиболее перспективными и лидирующими в области непрерывного термоконтроля считаются световодные и многоцветовые термометрические технологии ФТИМС НАН Украины, ориентированные на решение основных проблем современной оптической термометрии.

Список литературы

1. Измерительная техника на металлургических заводах. // Нихон кикай гаккайси. Mech Eng. – 1989. – №92.842.
2. Техника измерений в черной металлургии. // Кэйсоку то сэйгё. Soc. Instrum. and Contr. Eng. – 1990. – №6. – С. 508-517.
3. Выставка «Sensor 1991». // Elektronik. – 1991. - №7. – С. 42-43.
4. Конкуренция на европейском рынке измерительной и испытательной техники. – 1994. – №8. – С. 2704.
5. Сергеев С.С. Тенденции изменения терминологии в термометрии. По материалам сайта www.technoac.ru. – 2007. – С.1-2.
6. Реферативный журнал 15.Металлургия. М.: ВИНТИ. – 1971-2010.
7. Реферативный журнал 14.Технология машиностроения. 14Г. Технология и оборудование литейного производства. М.: ВИНТИ. – 1997-2010.

Л. Ф. Жуков, М. И. Смирнов, А. В. Богдан

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

НЕПРЕРЫВНЫЙ СВЕТОВОДНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Максимальные технико-экономические показатели металлургических печей для получения, обработки и разлива жидкого металла, достигаются только при непрерывном термоконтроле технологических процессов. Многолетние исследования и практика применения контактных, бесконтактных и световодных методов показали, что для реализации непрерывного контроля температуры жидкого металла в печах наиболее надежными являются световодные термометрические технологии.

Суть световодного термоконтроля заключается в том, что во время работы металлургического агрегата стационарно установленное в футеровке (Ф) световодное устройство (СУ) формирует однозначно связанное с температурой жидкого металла (ЖМ) излучение и обеспечивает его передачу к фокусирующему устройству (ФУ), которое зафиксировано в визирном устройстве (ВУ) (Рис.1). ВУ с ФУ размещены в термостатирующем кожухе (ТСК). ФУ концентрирует световодное излучение на приемном торце волоконно-оптического кабеля (ВОК). ВОК передает излучение к детектирующему устройству (ДУ), для преобразования в аналоговые электрические сигналы. Вторичный измерительный преобразователь (ВИП) преобразует аналоговые сигналы ДУ в цифровой код температуры, в соответствии с заданной номинальной статической характеристикой преобразования. Результаты измерений температуры жидкого металла индицируются на встроенном или выносном индикаторе (ВЦИУ) и регистрируются устройством (РП).

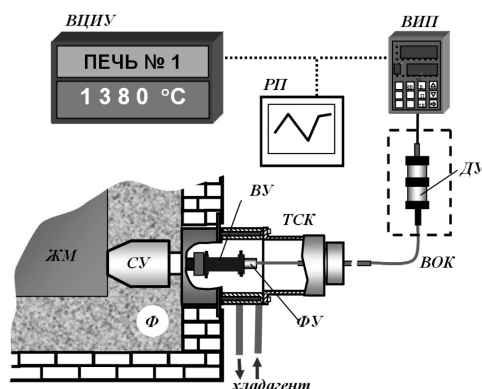


Рис.1

Исследования световодного термоконтроля в промышленных условиях на индукционных тигельных и канальных плавильных, миксерных и разливочных печах подтвердили его безальтернативность. Термоконтроль позволяет: повысить производительность печей и продлить ресурс футеровки; снизить энергозатраты, брак литья по температуре и угар шихтовых материалов; исключить аварийные ситуации, связанные с неконтролируемым перегревом металла.

В результате исследований метрологических характеристик установлено, что погрешность световодных измерений температуры жидкого металла не превышает допустимого для технологического контроля предела (1%). Среднее квадратическое отклонение результатов измерений от показаний образцового измерительного средства, составляет 4,7 °С.

УДК 621. 744.3

А. Ю. Кізілова, Д. А. Дьомін

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ ЗІ СТАЛІ 20 ГСЛ

Якщо умовно, укрупнено, розбити технологію виготовлення виливків на два етапи: етап проектування ливарної форми і етап виробничий - власне виготовлення виливків, то вибір математичного апарату теж буде різним. Від того наскільки правильно підібраний цей апарат в залежності від етапу виконання завдання, безпосередньо залежить якість одержуваних рішень - власне названі вище критерії оптимізації. Тому в даній роботі поставлена задача аналізу і вибору математичного апарату для всіх етапів отримання готових виливків.

На етапі проектування технології ливарної форми можуть бути застосовані методи планування активного або пасивного експерименту. Результатом застосування цих методів є отримання математичного опису якості виливків або витрат на ливарну форму, в залежності від конструктивних елементів оснащення або параметрів формувальної або стрижневої суміші. При цьому структура моделі являє собою поліном ступеня n , модель - лінійна і може включати коефіцієнти, що враховують сумісний вплив декількох вхідних змінних. Можлива та-

кож побудова центральних ортогональних композиційних планів і дослідження отриманої поверхні відгуку на предмет наявності оптимуму і характеру зміни вихідних змінних.

Однак на другому етапі - виробничому - застосування таких методів скрутно. Проблема отримання математичних моделей, що зв'язують склад, структуру і властивості сплаву полягає в невідповідності великої кількості факторів, що впливають на результат, і неминуче малої вибірки вихідних даних. Шляхи подолання даної проблеми описані в роботах. Зокрема, рішення може полягати в наступному. Сукупність результатів вимірювань чинників утворює пасивний експеримент. Оцінки коефіцієнтів розраховуються методом найменших квадратів. Внаслідок вільного розташування експериментальних точок в області планування, матриця вхідних змінних не є ортогональною, що виключає можливість незалежного оцінювання впливу кожного з факторів і їх взаємодії, що забезпечує відсіювання мало значущих компонентів рівняння регресії. Дана проблема вирішується застосуванням методів штучної ортогоналізації - отриманням кусочно - лінійного опису функції відгуку до всіх гіперквадрантів факторного простору:

$$Y_e = b_{e0} + b_{e1}F_1 + b_{e2}F_2 + \dots + b_{em}F_m, \quad (1)$$

$$B_e = (H_e^T H_e)^{-1} H_e^T Y_e. \quad (2)$$

Після цього вже можуть бути розраховані значення функцій відгуку в точках, відповідних вершин гіперкуба - суть точкам плану повного факторного експерименту. Отриманий таким чином план називається планом активного ортогоналізованого повного факторного експерименту (ОПФЕ).

Застосування імовірнісного методу дозволило побудувати математичну модель, що описує міцнісні характеристики сталі 20 ГСЛ для виливку «Корпус» в залежності від технологічних режимів плавки, а також знайти оптимальні технологічні параметри процесу. Також за допомогою визначення довірчого інтервалу (другий етап) ми визначили оптимальну кількість легуючих елементів, що дозволяє в рази скоротити матеріальні витрати.

Також дуже важливо відзначити, що за допомогою математичного моделювання можна поліпшити якість литва і скоротити витрати на механічну обробку. За допомогою даного методу є можливим розрахувати точну кількість матеріалів для отримання позитивного результату.

Список літератури

1. Селиверстов В. Ю. Особенности комплексного влияния неметаллических примесей и газодинамического воздействия на структурообразование стали [Текст] / В. Ю. Селиверстов, Ю. В. Доценко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – № 53 – С. 20-26.
2. Селиверстов В. Ю. Разработка рациональной конструкции блока ЛВМ при газодинамическом воздействии в процессе кристаллизации отливки [Текст] / В. Ю. Селиверстов, П. Д. Куш, Ю. В. Доценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. -2012. -№ 2/13(56). — С. 9—12.
3. Seliverstov V. About modifying action of gas-dynamic influence on the A356 aluminium alloy [Text] / V. Seliverstov, Y. Dotsenko // XIII International scientific conference. New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. A collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Chapter 1. Series: Monographs No 24. Czestochova 2012. -P. 265-271.
4. Дёмин Д. А. Обработка экспериментальных данных и построение математической модели технологического процесса методом наименьших квадратов (МНК) [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 3/1. — С. 47—50.
5. Дёмин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2005. — № 6. — С. 48—59.
6. Дёмин Д. А. Оптимизация технологических режимов [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 2/1(20). — С. 32—35.
7. Коваленко Б. П. Оптимизация состава холоднотвердеющих смесей (ХТС) с пропиленкарбонатом [Текст] / Б. П. Коваленко, Д. А. Дёмин, А. Б. Божко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. —2006. — № 6. — С. 59—61.
8. Дёмин Д. А. Принятие решений в процессе управления электроплавкой с учетом факторов нестабильности технологического процесса [Текст] / Д. А. Дёмин // Вісник національного технічного університету «ХПІ». —Харків : НТУ «ХПІ». — 2010. — № 17. — С. 67—72.

**ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕНТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ЧУГУНЕ С
УЧАСТИЕМ ФУЛЛЕРЕНОВ И НАНОЧАСТИЦ TiCN**

В настоящее время установлено [1-2], что структурным элементом формирующим строение Fe-C расплавов, также является фуллерен. Фуллерены относятся к фрактальным кластерам с размером 2...10 нм, на основе которых формируются углеродные наночастицы – фуллериты. Фуллерены попадают в расплав из шихты, а так же и самостоятельно образуются в расплаве, участвуя в структурировании Fe-C расплава при охлаждении как центры кристаллизации [1]. Важным условием формирования центров кристаллизации является наличие размерного и структурного сходства параметров их кристаллической решетки с параметрами решетки кристаллизующей фазы (аустенита) при кристаллизации доэвтектического чугуна. Аустенит имеет кубическую решетку, а молекулы фуллерена – гексагональную, поэтому сами фуллерены не могут быть центрами кристаллизации.

Однако известно, что фуллерены в Fe-C растворах склонны к образованию агрегатов, средний размер которых зависит от температуры. Поэтому в расплаве из молекул фуллерена C_{60} , могут образовываться углеродистые наночастицы – фуллериты, представляющие собой центры кристаллизации, в узлах решётки которого находятся молекулы фуллерена. Число молекул фуллерена C_{60} в фуллерите формируются не произвольно, а подчиняется определенной закономерности [3]. Наиболее выгодными типами упаковок молекул C_{60} являются плотнейшие шаровые упаковки, представляющие собой гранецентрированную кубическую решетку (рис.). С наслоением фуллеренов фуллериты растут и когда они достигают критического размера, то являются активными центрами кристаллизации, на которые осаждаются атомы железа. Чем большее переохлаждение, тем быстрее и активнее протекают процессы в расплаве.

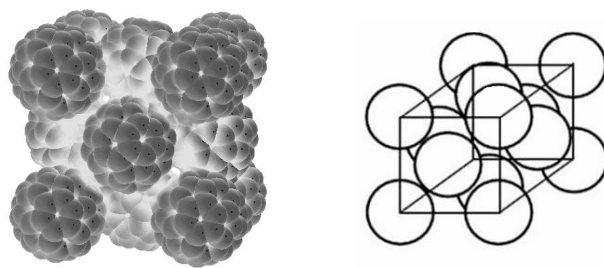


Рисунок. Вид кубической решетки из фуллерита

При модифицировании расплава нанодисперсным TiCN помимо фуллеритов активными центрами кристаллизации являются также и частицы TiCN, значительно измельчающие структуру чугуна [4]. Частицы TiCN имеют кубическую решетку, поэтому при вводе его как модификатора-инокулятора, увеличивается количество центров кристаллизации.

Таким образом, центрами кристаллизации помимо наночастиц TiCN могут являться и фуллериты. Окончательное формирование зародышей происходит при образовании вокруг наночастиц TiCN и фуллеритов оболочки из кристаллизующейся фазы. Закристаллизовавшаяся структура имеет более мелкое зерно (в 1,5 – 3,0 раза), а также большую твердость и прочность (на 20 – 45%). Это подтверждается при литье прокатных валков и изложниц из чугуна модифицированного комплексными дисперсными и нанодисперсными брикетами.

Список литературы

1. *Закирничная М.М.* Образование фуллеренов в углеродистых сталях и чугунах при кристаллизации и термических воздействиях : автореф. дис. ...канд. тех. наук : 5.02.01. / М.М. Закерничная; УГНТУ.– Уфа, 2001. – 78 с.
2. *Давыдов С.В.* Фуллереновая природа жидкого чугуна – основа технологии наномодифицирования / С.В. Давыдов. Общие вопросы. Черные и цветные сплавы : Новосибирск, – 2005. – С. 101-108.
3. *Елецкий А. В.* Фуллерены и структуры углерода / А. В. Елецкий, Б. М. Смирнов // УФН. – 1995. – Т. 165. – № 9. – С. 977-1009.
4. *Калинин В.Т.* Роль тугоплавких наночастиц в модифицирующих процессах при кристаллизации чугуновых отливок / В.Т. Калинин, А.А. Кондрат // Металлознание и термическая обработка металлов. – 2009. – № 1(44). – С. 14-20.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТАЛЕЙ ДИСПЕРСНО-СТРУКТУРИРОВАННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ШИХТЫ

На примере сталей 45Л и Р6М5Л показана возможность целенаправленного повышения дисперсности литой структуры введением в расплав дисперсно-структурированных скоростной кристаллизацией добавок сталей аналогического химического состава.

Модифицирующие добавки сталей изготавливали в условиях интенсивного теплоотвода при охлаждении расплава со скоростью $V_{\text{ох}} = 350 \text{ }^{\circ}\text{C/с}$, $V_{\text{ох}} = 650 \text{ }^{\circ}\text{C/с}$. Такие условия кристаллизации обеспечивают измельчение зерна от номера 3 до номера 5 (сталь 45Л) и от 7 до 9 (сталь Р6М5Л) соответственно увеличению скорости охлаждения.

Введение указанных добавок в количестве 20 % от массы отливки производили при температурах расплава, не превышающих равновесную температуру его микронеоднородности (T_p), то есть на 50-60 $^{\circ}\text{C}$ выше температуры ликвидуса исследуемых сталей. Разливка сталей в песчаные формы обеспечивала скорость их охлаждения при кристаллизации 2-5 $^{\circ}\text{C/с}$.

Металлографически показано, что введение в расплав дисперсно-структурированных добавок оказывает модифицирующее воздействие на формирующуюся литую структуру, обеспечивая измельчения зерна стали 45Л от номера 0 (без модифицирования) до номера 3 и 5 и стали Р6М5Л (без модифицирования) от номера 5 до номера 6 и 8 соответственно скорости охлаждения при изготовлении добавки.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности существенного измельчения литой структуры с использованием явления наследственности дисперсно-структурированных добавок сталей. По сравнению с традиционным примесным модифицированием такое модифицирование является более универсальным, управляемым и экономически безопасным с достаточно продолжительной технологической живучестью.

Эффект такого модифицирования определяется количеством и степенью дисперсности вводимой добавки. Такие модификаторы могут быть изготовлены

методами кокильного литья с интенсивным теплоотводом, струйного компактирования, закалкой из жидкого состояния.

УДК 621.7

Е. А. Красноухова, О. В. Акимов

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

«РАСЧЕТ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЙ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ SOLID WORKS И LVM FLOW»

В работах [1-3] было показано, что эффективными инструментами для решения поставленной задачи является программный пакет трехмерного проектирования Solid Works и программа LVM Flow. Конечно-разностная модель типовой по габаритам и конструкции литой детали может быть построена по таким исходным данным: размер ячейки; количество ячеек; материал отливки; температура металла; способ заливки. Методология построения математических моделей, описывающих влияние перечисленных выше параметров проектирования (входных переменных) на качество заполнения формы расплавом, как описано в работах [4-5], включает в себя: норматирование входных переменных; построение планов полного или дробного факторного экспериментов и проведение соответствующих компьютерных экспериментов (в случае, если есть возможность самостоятельно менять входные переменные); или искусственной ортогонализации при наличии результатов пассивного эксперимента (взятых, например, из литературных источников). Реализация компьютерного эксперимента по заливке формы расплавом и процесса заполнения формы возможна также, как показано в работах [6-9], с помощью симплекс-метода и гребневого анализа по Херлю, причем в первом случае получение оптимального решения непосредственно связано с проведением эксперимента, а во втором – требует дополнительного анализа полученной поверхности отклика.

На основе компьютерного моделирования показано, что направленность кристаллизации играет важнейшую роль при получении качественной литой детали. По результатам математического моделирования были выявлены области предположительного образования дефектов (в программе LVM Flow мо-

дель образования усадочных дефектов базируется на теории перколяции и определяется в процентах, показываемых на шкале), и установлены параметры заливки, минимизирующие процент усадочных дефектов в теле отливки.

Список литературы

1. *Акимов О. В.* Экспериментальные исследования и компьютерное моделирование материалов для блок-картера ДВС [Текст] / О. В. Акимов, А.П. Марченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – № 5/1 (35).
2. *Акимов О.В.* Компьютерное моделирование процессов при производстве литьих деталей двигателя [Текст] / О. В. Акимов, В. И. Алехин,
3. *А.П. Марченко* // Литейное производство. – 2010 – № 9. – С. 31-33.
4. *Акимов О. В.* Применение методик конструкторско-технологического проектирования деталей ДВС в моделировании литейных процессов изготовления автомобильных поршней [Текст] / О. В. Акимов, В. И. Алехин,
5. *А.П. Марченко* // Цветные металлы. – 2010. – № 8.
6. Анализ влияния некоторых факторов на качество индукционной тепловой сборки подшипниковых узлов [Текст] /
7. *О. В. Акимов, М. К. Кравцов, В. Т. Акимов* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 5/5 (47).
8. *Демин Д. А.* Обработка экспериментальных данных и построение математической модели технологического процесса методом наименьших кадров (МНК) [Текст] / Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 3/1. – С. 47-50.
9. *Серая О. В.* Оценивание параметров уравнения регрессии в условиях малой выборки [Текст] / О. В. Серая, Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 6/4 (42). – 2009. – С. 14-19.
10. *Серая О. В.* Оценка представительности усеченных ортогональных подпланов плана полного факторного эксперимента [Текст] / О. В. Серая

ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРМОМЕТРИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Симметрично-волновая пирометрия излучения (СВПИ) является одним из разрабатываемых ФТИМС НАН Украины направлений многоцветовой термометрии. Во многих случаях практического применения СВПИ имеет явные преимущества по сравнению с известными решениями. Эти преимущества определяются прежде всего минимально возможным количеством рабочих длин волн и простыми алгоритмами обработки первичной пирометрической информации, обеспечивающими более высокие метрологические характеристики. Наиболее простой здесь является линейная СВПИ. В случае термометрируемых объектов с линейными распределениями излучательной способности, в том числе со спадающими, возрастающими, серыми и термодинамически равновесными, методические погрешности линейной СВПИ определяются исключительно дискретностью перебора значений температуры контролируемых объектов. Современная микропроцессорная и компьютерная техника позволяет выбрать дискретность в долях кельвина и тем самым приблизить эти погрешности к нулю. Интересным является исследование пределов отклонений спектральных распределений излучательной способности металлических сплавов от линейных, при которых погрешности линейной СВПИ принимают вполне допустимые для технических измерений температуры и технологического контроля значения.

Оптические характеристики СВПИ можно разделить на 2 группы, относящиеся к объектам контроля и системам пирометрии излучения. Характеристики системы определяются спектральным диапазоном $\lambda_3 - \lambda_1$, задающим $\Delta\lambda = (\lambda_3 - \lambda_1) / 2$, мкм и длиной средней волны λ_2 , мкм.

Исследовано влияние указанных оптических характеристик пирометрии излучения ($\Delta\lambda$ и λ_2) на методические погрешности линейной многоцветовой симметрично-волновой термометрии. Исследования выполнены в широких диа-

пазонах характеристик наиболее перспективных кремниевых детекторов излучения. В качестве базового термометрического объекта использован вольфрам с наиболее детально изученными и известными излучательными характеристиками. В результате исследований установлено, что при значительных, перекрывающих характеристики реальных металлических сплавов, отклонениях спектральных распределений излучательной способности от линейных, линейная симметрично-волновая пирометрия излучения обеспечивает вполне приемлемые результаты. Например, погрешности симметрично-волновой пирометрии излучения подавляющего большинства металлов и их сплавов, в том числе вольфрама, не превышают 0,5% и могут быть дополнительно снижены оптимизацией оптических характеристик пирометрической системы, в том числе оптимизацией спектрального диапазона и длины средней волны. Для большинства реальных распределений излучательной способности металлических сплавов погрешности симметрично-волновой пирометрии в 9,1 – 25,0 и 5,9 – 6,8, а также 2,4 – 3,3 раза ниже погрешностей соответственно классической энергетической одноцветовой и спектрального отношения двухцветовой, а также известной полихроматической пирометрии излучения.

УДК 669.15-194:620.17:669.182.3

Д. М. Короленко, С. Я. Шипицын

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

РАЗРАБОТАНЫ НОВЫЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ, НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫЕ, ЦЕМЕНТУЕМЫЕ СТАЛИ С ПОВЫШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Разработанные во ФТИМС НАН Украины технологии легирования азотом совместно с активными нитридообразующими элементами (V, Nb, Ti, Al), вместе с химико-термической обработкой, помогает получить новые марки сталей с высокими функциональными и эксплуатационными свойствами.

Конструкционные стали с дисперсионным нитридным упрочнением лучше поддаются поверхностному химико-термическому упрочнению. Так, при цементации по сравнению со стандартными сталями достигается повышение в 1,5–3

раза объемной прочности деталей при снижении в 1,6 – 3,4 раза интенсивности уменьшения их объемной пластичности и вязкости, повышение в 1,5–4 раза износо- и кавитационной стойкости, повышение в 2–3 раза тепло- и термостойкости, снижение в 2–3 раза степени коробления деталей при цементации, повышение в 1,6–1,7 раза внутренних остаточных напряжений сжатия на поверхности изделий, что гарантирует существенное повышение их усталостных характеристик.

Основными механизмами отмеченного являются:

- создание дальнедействующих внутризеренных, с высокой сегрегационной емкостью диффузионных «ловушек» для атомов внедрения, которыми являются зоны искаженной кристаллической решетки матрицы возле частиц VN и межфазные высокоугловые границы VN- матрица;
- повышение плотности закрепленных дислокаций, уменьшение размеров и углов разориентировки блоков когерентного рассеивания;
- диспергирование аустенитного зерна нитридванадиевой фазой и снижение температуры M_n твердорастворным азотом.
- одновременное повышение прочности (микротвердости) и вязкости разрушения (K_{Ic}) диффузионных слоев;
- снижение скорости роста и коагуляции карбидных фаз в цементованном слое;
- повышение способности к деформационному упрочнению.

УДК 621

К. В. Корсун, В. В. Клитной

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
РОБОТОВ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ.**

Первые промышленные роботы начали создавать в середине 50-х годов XX века в США. В 1954 году американский инженер Дж. Девол запатентовал способ управления погрузочно-разгрузочным манипулятором с помощью сменных перфокарт, т. е. получил патент на робот промышленного назначения.

Вместе с Д. Энгельбергом в 1956 г. он организовал первую в мире компанию по выпуску промышленных роботов. Ее название «Unimation» (Юнимейшн) является сокращением термина «Universal Automation» (универсальная автоматика).

В 1959 году фирма "Консолидейтед Корпорейшн" (США) опубликовала описание манипулятора с числовым программным управлением (ЧПУ), а в 1960-1961 гг. в американской печати появились первые сообщения о манипуляторах "Transferrobot" и "Eleximan" с ПУ для автоматизации сборочных и других работ. В 1962 году в США были созданы первые в мире промышленные роботы «Юнимейт» ф. "Юнимейшн Инкорпорейд" и «Версатран» ф. "АМФ Версатран". Их сходство с человеком ограничивалось наличием манипулятора, отдаленно напоминающего человеческую руку. Некоторые из них работают до сих пор, превысив 100 тысяч часов рабочего ресурса.

Промышленный робот — автономное устройство, состоящее из механического манипулятора и системы управления (позволяющей перепрограммировать в широких пределах движения исполнительных органов манипулятора, их количество и траекторию; а также задать другие количественные и качественные параметры конфигурации робота и оснастки), которое применяется для перемещения объектов в пространстве и для выполнения различных производственных процессов.

Промышленные роботы могут выполнять основные технологические операции (сварка, окраска, сборка и др.) и вспомогательные технологические операции (загрузка-выгрузка технологического оборудования, транспортные и др.). При использовании сменной технологической оснастки выполняемые операции могут совмещаться одним роботом.

Промышленные роботы являются одним из компонентов автоматизированных производственных систем (РТК, РТЛ, РТС, РТЯ, ГАП и т.п.), которые при неизменном уровне качества позволяют увеличить производительность труда в целом.

Экономически выгодно использование промышленных роботов совместно с другими средствами автоматизации производства (автоматические линии, участки и комплексы).

В современном машиностроении используют промышленные роботы с пневматическим, гидравлическим и электромеханическим приводом.

Но наиболее распространенными стали промышленные роботы и манипуляторы с пневматическим приводом, в настоящее время около 60 % оснащено именно им, и количество растёт.

Основными преимуществами использования пневмопривода перед гидравлическим и электромеханическим это:

- высокая надёжность и простота конструкции;
- высокая скорость перемещения звеньев (у безштоковых цилиндров фирмы “Parker” скорость перемещения доходит до 30 м/с, а у пневматических моторов до 15000 об/мин);
- использование сжатого воздуха в качестве рабочего тела, обеспечивает экологическую чистоту, не требует затрат на утилизацию отработанного сжатого воздуха и практически не ограниченный запас его.
- высокая точность позиционирования при работе по жестким упорам;
- при использовании не высокого рабочего давления (до 1Мпа) достигается высокий коэффициент полезного действия (до 90%).
- возможность использования в агрессивных и пожароопасных средах, а так же в опасных для человека условиях.
- небольшие размеры элементов привода (использования стандартных пневмо цилиндров позволяет компактно разместить всю контрольную аппаратуру) и стоимость самих элементов и их обслуживание значительно ниже чем у гидравлического привода.

В последнее время очень часто стали применять манипуляторы на базе функциональных модулей, так как он имеет ряд преимуществ: высокая жесткость и надёжность на всём диапазоне нагрузок, компактность и высокий технический дизайн, высокая скорость перемещения с плавным регулированием. Такой манипулятор представлен на рисунке 3

Список литературы

1. Электropневмоавтоматика в производственных процессах: Учебное пособие / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский Ю.А, А.А. Четверкин: Под ред. Е.В. Пашкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003.
2. Пневмоавтоматика: 99 способов применения – Стефан Хасе – Дп «фесто» 2003
3. Промышленные роботы. Справочник – [Козырев Ю.Г.](#) – Москва 1988

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ УСТАНОВОК

Проблема усовершенствования конструкций электронно-лучевых литейных установок приобретает актуальность в связи с развитием отечественного машиностроения, требующим расширения производства литых изделий из различных металлов и сплавов, обладающих специальными свойствами. Значительная часть таких изделий может быть получена методами электронно-лучевой плавки и литья. В частности, к подобным изделиям относятся фасонные изделия различного назначения из сплавов титана и циркония; трубные заготовки из этих же сплавов; мерные шихтовые заготовки из жаропрочных сплавов для литья лопаток ГТД; медные кристаллизаторы и тигли для гарнисажной плавки. Разработанные во ФТИМС технологии получения перечисленных и некоторых других изделий описаны в работе [1], в которой также рассмотрены конструкции используемых для этих целей литейных установок.

Все созданные до последнего времени электронно-лучевые литейные установки включают следующие идентичные элементы, узлы и технические решения по их компоновке, а также системы обеспечения вакуума, электропитания и водоохлаждения:

- гарнисажные тигли с системами электромагнитного перемешивания (СЭМП) со сливом расплава через сливной носок и (или) через сливное отверстие в днище тигля;
- электронные термоэмиссионные пушки аксиального типа;
- устройства для завалки шихтовых материалов в тигель;
- камеры литейных форм с приспособлениями для заливки расплава;
- размещение тиглей и пушек в плавильных камерах на одной вертикальной оси;
- вакуумные системы с бустерной откачкой плавильных камер и с высоковакуумной откачкой электронно-лучевых пушек;
- системы высоковольтного питания пушек постоянным током с разгоняющим напряжением около 30 Кв;

- системы электропитания СЭМП, обычно током промышленной частоты с рабочим напряжением 20-30 В и силой тока 400-1200 А;

- системы водоохлаждения, рассчитанные на максимальную температуру перегрева воды не более 45 °С.

В целом такие установки удовлетворительно решают задачу получения литых изделий требуемого назначения и качества, однако они имеют ряд недостатков, которые касаются главным образом ограниченной производительности установок, малой эффективности при плавке некоторых материалов (например, губки), а также высокой стоимости и сложности в изготовлении, наладке и эксплуатации.

Возможные направления усовершенствования конструктивного исполнения электронно-лучевых литейных установок могут основываться на опыте металлургической электронно-лучевой плавки, где весьма эффективно используются промежуточные емкости [2] и пушки высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) [3]. В принципе вариантов использования этих элементов может быть несколько, что определяется решаемыми технологическими задачами, но наиболее перспективными представляются такие:

- с монтажом на установке и использованием в ходе плавки одновременно низко- и средневакуумных пушек ВТР;

- с перемещающимися в процессе плавки низко- и средневакуумными пушками ВТР;

- с несколькими независимыми плавильными камерами, обслуживаемыми одной или ограниченным количеством пушек ВТР.

В настоящее время разрабатываются конкретные конструкции литейных установок с промежуточными емкостями и пушками ВТР, в частности, для рафинирования металлургического кремния с целью получения кремния солнечного качества.

Список литературы

1. *Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под ред. С. В. Ладохина. – Киев: Изд-во «Сталь», 2007. – 626 с.*
2. *Электронно-лучевая плавка / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. – Киев: Наук. думка, 1997. – 266 с.*
3. *Чернов В.А. Мощные электронно-лучевые пушки высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) и оборудование на их основе // Труды 9-го*

УДК 621.74

М. А. Лихолет, О. И. Пономаренко

ООО НПФ «Ортопедическая техника», Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВЫХ ИНОКУЛЯТОРОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВ- ЛЕНИЯ ПРОТЕЗНО-ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

На сегодняшний день важное место среди материалов, применяемых в протезировании, занимают металлы и их сплавы. Широкое распространение получили в мировом протезировании алюминиевые сплавы. Алюминиевые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью за счет образования прочной окисной пленки, имеют малый удельный вес $2,7 \text{ г/см}^3$, но обладают низкими показателями прочности по сравнению с титановыми сплавами и сталями. т.к. прочность низкая. Для повышения прочности алюминиевые детали делают более массивными, что влечет за собой габаритов функциональных узлов. Наиболее широкое распространение для деталей ортопедии получили следующие алюминиевые сплавы: АК9_ч, АК7_ч, АК5М2, АК7.

Повышение прочности и пластичности усиливает ресурсосберегающий потенциал алюминиевых сплавов, расширяет сферы их рационального применения. В связи с возрастающими требованиями, предъявляемыми к протезно-ортопедическим изделиям (ПОИ) из Al-сплавов, актуальна разработка способов повышения качества литого металла. В результате модифицирования измельчаются макрозерно, либо структурные составляющие на микроуровне (возможно и сочетание обоих процессов), включая изменение морфологии выделений интерметаллических фаз с иглообразной, способствующей возникновению концентрации напряжений и развитию трещин, на глобулярную или близкую к ней, что предотвращает опасность возникновения указанных явлений. Результат модифицирования металлических композиций – улучшение технологических

свойств на стадии получения изделий, а также увеличение прочностных и пластических характеристик готовых изделий

Для повышения качества литого металла в последние годы большой интерес вызывает применение специально подготовленных нанопорошковых инокуляторов (НПИ) – нанопорошков размерами частиц < 100 нм из тугоплавких соединений (нитридов, карбидов, боридов и др.). Введенные в расплав они гомогенно распределяются по объему металла и служат гетерогенными затравками для образования кристаллической фазы.

Отличительной особенностью этих методов модифицирования являются высокие стабильность и уровень механических свойств и небольшие затраты энергетических и материальных ресурсов.

Экспериментально было изучено, эффективность применения инокуляторов из плакированных металлом нанопорошков TiN и AlN для измельчения структуры и повышения механических характеристик литейного сплава АК 7ч, применяемого для изготовления (ПОИ). В процессе работы были сделаны следующие выводы:

- инокуляторы из плакированных нанопорошков TiN и AlN существенно влияют на структуру и свойства Al сплава;
- модифицирование сплава АК 7ч нанопорошками TiN и AlN приводит к значительному присутствию глобулярной структуры, уменьшению среднего диаметра зерна, а также к увеличению микротвердости и измельчению кремниевых частиц и интерметаллидов.

УДК. 621.74.046:620.178.16

В. П. Лихошва, Е. Г. Афтандилянц, О. А. Пеликан, Л.М. Клименко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Эффективный выбор оптимальных режимов легирования, литья и термической обработки биметаллических отливок возможен в результате компьютерного анализа процесса формирования структуры материала основы, рабочего слоя и переходной зоны при охлаждении после заливки и в процессе термиче-

ской обработки.

Целью настоящей работы являлось установление основных факторов, определяющих процесс формирования структуры биметаллических отливок, и количественных закономерностей их влияния.

Исследования проводили по последовательной схеме изготовления биметаллических отливок, которая включает заливку основы, засыпку флюса на поверхность затвердевшей основы, заливку рабочего слоя, затвердевание и охлаждение отливки после затвердевания. Такая последовательность технологических операций характерна для процесса изготовления большой группы биметаллических отливок рабочих органов дробильно-размольного оборудования, в частности, молотков, бил, отбойных плит и др.

Результаты выполненных исследований показали, что в литом состоянии стальная основа биметаллических отливок состоит из феррита и перлита, а рабочий слой – из карбидов, аустенита и перлита. Граница основы и рабочего слоя диффузионная, без подплавления и со стороны чугуна состоит из перлита, а со стороны стали представляет собой феррит. После термической обработки изменяется дисперсность и соотношение структурных составляющих, а в рабочем слое вместо перлита формируется мартенсит.

Количественные закономерности влияния исходных факторов на функции отклика определяли методами парного и множественного корреляционного анализа, при 95% вероятности.

Установлено, что в литом состоянии содержание структурных составляющих и дисперсность феррито-перлитной структуры металла-основы с коэффициентом корреляции от 0,825 до 0,867 определяется углеродным эквивалентом стали и скоростями охлаждения в жидком состоянии, интервале затвердевания в температурной области от 600 до 800 °С, предшествующей диффузионному распаду аустенита; размер ферритного и перлитного слоя в переходной зоне с коэффициентом корреляции от 0,741 до 0,935 – вышеперечисленными параметрами, а также углеродным эквивалентом чугуна; количество карбидов с коэффициентом корреляции 0,984 – углеродным эквивалентом чугуна; размер карбидов с коэффициентом корреляции 0,999 – углеродным эквивалентом чугуна, а также скоростью охлаждения рабочего слоя в жидком состоянии и в интервале затвердевания; количество и размер зерен перлита в рабочем слое, а также расстояние между пластинами цементита в перлите с коэффициентом корреляции от 0,977 до 0,978 – скоростью охлаждения рабочего слоя в интер-

вале температур от 600 до 800 °С, углеродным эквивалентом чугуна и температурным интервалом диффузионного распада аустенита рабочего слоя; объемная доля остаточного аустенита в рабочем слое с коэффициентом корреляции 0,823 – углеродным эквивалентом чугуна и скоростью охлаждения рабочего слоя в жидком состоянии и в интервале затвердевания.

После термической обработки структура биметаллических отливок определяется соотношением соответствующих структурных характеристик в литом состоянии и углеродных эквивалентов.

Установленные закономерности позволяют прогнозировать структуру биметаллических отливок в литом и термообработанном состоянии и являются основой для моделирования свойств и ресурса работы дробильно-размольного оборудования.

УДК 669.131.7

П. Е. Лущик, И. В. Рафальский

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ УСАДОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В СИЛУМИНАХ

При проведении имитационного моделирования и анализа литейных процессов технологу приходится сталкиваться с проблемой недостатка и низкого качества информации, необходимой для формирования исходных данных, в первую очередь, в части теплофизических характеристик литейных сплавов [1]. По причине использования многокомпонентных составов сплавов, наследственности шихтовых компонентов, использования модифицирующих добавок и рафинирующей обработки, характер затвердевания, а соответственно и образования усадочных дефектов, сплава непостоянен. Поэтому, используя САПР литейных процессов, необходимо проводить предварительную корректировку используемых в расчетах входных данных применительно к реальным условиям производства и, прежде всего, теплофизических характеристик материалов системы «расплав-форма».

В настоящей работе исследовалось влияние модифицирующих и армирующих добавок на зависимость выделения твердой фазы от температуры и формирование зоны усадочных дефектов в эвтектических силуминах.

Для решения задач исследования использовался метод имитационного моделирования процесса затвердевания с использованием программы ProCAST. Основные теплофизические зависимости сплавов были получены с использованием методики расчета двухфазной зоны в интервале кристаллизации силуминов с использованием данных компьютерного термического анализа [2].

В качестве объекта исследования для исследований использовали силумин с содержанием кремния 13% (мас.). Сплавы готовились в муфельной печи сопротивления при температуре 800°C сплавлением алюминия технической чистоты марки А7 и кристаллического кремния марки Кр1 в графитовых тиглях. Термический анализ проводился при естественном охлаждении расплава в тигле на воздухе, скорость охлаждения составляла 1,5–1,7 °C /с.

В качестве модификаторов сплава использовали: а) титан (вводился в лигатуре Al-5%Ti), б) натрий (вводился в виде модифицирующего флюса состава: 50 %NaCl, 30 % NaF, 10%KCl 10 % Na₃AlF₆), в) стронций (вводился в лигатуре Al-5%Sr), г) сурьма (вводилась в чистом виде), д) фосфор (вводился в лигатуре Cu-8%P), е) SiC (вводился в лигатуре Al-1%Ti-10%SiC).

Склонность сплава к образованию усадочных дефектов (раковин и пористости) определялась с использованием технологических проб – небольших отливок, имеющих форму усеченного конуса.

Расчет зон образования усадочной пористости, с использованием экспериментально полученных данных, соответствовал реальными дефектами в исследуемых образцах алюминий-кремниевого сплава.

Сравнительный анализ полученных результатов исследованных образцов технологических проб показал, что при введении модифицирующих добавок формирование зоны усадочных дефектов в сплавах системы Al-Si эвтектического состава будет происходить различным образом:

- титан не оказывает заметного влияния на положение и размеры зоны образования усадочных дефектов, что согласуется с теоретическими представлениями о влиянии микродобавок титана на процесс эвтектической кристаллизации силуминов;

- сурьма и стронций оказывают схожее влияние на процесс формирования усадочных дефектов в образцах из сплава Al-Si эвтектического состава – рассеивают усадочную пористость по сечению;

- обработка эвтектического силумина натрийсодержащим флюсом, фосфором и карбидом кремния увеличивают зону усадочной пористости в осевом направлении.

Список литературы

1. *Голод В.М.*, Компьютерный анализ литейной технологии, проблемы его информационного обеспечения и адаптации к условиям производства // Вестник Удмуртского университета. – Физика. Химия, вып.1, 2008.
2. *Лущик П.Е., Рафальский И.В.* Расчет двухфазной зоны в интервале кристаллизации алюминиевых сплавов с использованием термического анализа / Лущик П.Е. [и др.] // Литье и металлургия. – 2012. – №1. – С. 79-83.

УДК:666.76:621.74

Т. В. Лысенко, Н. П. Худенко, Н. И. Замятин, В. А. Русева

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

СПЛАЙН ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ ЗАМОРОЖЕННЫХ ФОРМ

Интерполяция сплайнами третьего порядка - это быстрый, эффективный и устойчивый способ интерполяции функций. Основными достоинствами сплайн-интерполяции являются её устойчивость и малая трудоемкость. Системы линейных уравнений, которые требуется решать для построения сплайнов, очень хорошо обусловлены, что позволяет получать коэффициенты полиномов с высокой точностью [1].

Рассмотрим использование сплайн-интерполяции для повышения точности результатов эксперимента за счет более качественной обработки результатов при определении коэффициента теплопроводности противопригарных покрытий замороженных форм.

Для этой цели была использована система MathCAD (демонстрационная версия). Система MathCAD позволила провести сплайн-интерполяцию набора экспериментальных точек, полученных для определения коэффициента теплопроводности противопопригарного покрытия замороженных форм.

Значение коэффициента теплопроводности является одним из важных параметров противопопригарного покрытия. Теплопроводность покрытия оказывает большое влияние на заполнение формы жидким сплавом, а также ход формирования отливки. Для исследования было выбрано покрытие следующего состава: диоксид титана – 30-32 % (вес); дистенсиллиманит – 30-32 %; бентонит – 1-2 %; ЛСТ – 3-4,5 %; вода – до требуемой плотности.

Для определения коэффициент теплопроводности покрытия использовали метод погружения [2]. Прежде, чем приступить к расчету коэффициента теплопроводности покрытия, обработали экспериментальные данные при помощи сплайн-интерполяции. Экспериментальные точки попарно соединили отрезками полиномов. Для этого выбрали полиномы третьей степени. Для того чтобы найти коэффициенты этих полиномов на сплайн накладывали дополнительные условия сшивки - первая и вторая производные слева и справа от каждой экспериментальной точки должны быть равны между собой. Дополнительные два условия должны быть наложены в начальной и конечной экспериментальных точках, поскольку в них нет условий сшивки. Эти условия можно выбрать по-разному. В начальной и конечной точках накладывается условие линейности. Интерполяция кубическими сплайнами дала хорошие результаты. Погрешность отклонения равна нулю.

После проведения интерполяции сплайнами приступили к расчетам коэффициента теплопроводности покрытия точным и приближенным методами. Таким образом, значения коэффициента теплопроводности исследуемого покрытия составил – 0,162 Вт/м·°С. Использование сплайн-интерполяции при обработке экспериментальных данных при определении коэффициента теплопроводности противопопригарного покрытия замороженной формы позволило получить более точные результаты окончательного расчета.

Список литературы

1. *Дорошенко, С. П.* Предотвращение пригара на отливках. Теория и практика [Текст] / С. П. Дорошенко, В. Н. Дробязко, А. И. Шейко // Литейное производство. – 1996. – №4 – С. 20–21.
2. *Сварика, А. А.* покрытие литейных форм / [Текст] – М. : Машиностроение. 1977. – 216 С.

УДК 621.74

Р. В. Лютый, И. М. Гурия, Д. В. Кеуш

Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

СВЯЗУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ И СОЛЕЙ МЕТАЛЛОВ

Связующими свойствами обладает множество солей металлов: сульфаты, нитраты и гидроксинитраты, алюминаты, хлориды и гидроксихлориды, которые нашли свое ограниченное применение в отдельных случаях для керамических форм по выплавляемым моделям [1, 2]. Причиной тому дефицитность и сложный процесс синтеза данных связующих с заданными свойствами, потому их производство не налажено. Фосфаты более распространены в литейном производстве, однако приготовление смесей связано с трудностями выбора правильного отвердителя, его дозирования и непостоянством свойств материалов, которые используют в них.

Смеси с фосфатными связующими не обязательно должны быть двухкомпонентными или иметь еще более сложный состав. Представляется интерес синтеза новых смесей с простым механизмом отверждения на базе известных и широко применяемых в литейном производстве химических веществ. Для достижения изложенной цели поставлены следующие задачи:

1. Выбор ряда распространенных в литейной практике простых химических соединений и установление основных принципов химического взаимодействия указанных материалов с ортофосфорной кислотой.
2. Анализ возможности применения полученных соединений в составе формовочной смеси и установление условий ее отверждения.

3. Установление оптимального соотношения компонентов смеси для обеспечения высокого уровня физико-механических свойств и проведение лабораторных испытаний экспериментальных смесей.

Были проведены исследования с такими широко применяемыми как вспомогательные материалы в литейном производстве неорганическими солями, как FeSO_4 , MnSO_4 , MnCl_2 , CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NaCl , Na_2CO_3 , $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, NaNO_3 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CaSO_4 , NaF . Анализ предварительных результатов дал возможность выделить из этого ряда те, которые, вероятней всего, обеспечат связь в реальной формовочной смеси с наполнителем – песком на основе кварца. Для этого указанные соли металлов вводили в смеси в количестве 3%, а также добавляли 3% ортофосфорной кислоты. Отверждение смесей производили как при нормальной, так и при повышенной (в интервале до 200°C) температуре, а прочность измеряли на стандартных цилиндрических образцах.

Наиболее приемлемые результаты получены с такими веществами как полифосфат натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ и хлорид натрия NaCl . Первый обеспечивает максимальную прочность (более 2,5 МПа), а второй является наиболее доступным и широко применяемым в литейном производстве. Остальные соли в большинстве своем также показали положительные результаты (прочность смесей в интервале 1,0...2,0 МПа), что свидетельствует о прохождении в таких смесях химического взаимодействия с образованием фосфатов соответствующих металлов. Однако натрий, склонный к образованию фосфорных солей полимерного характера, к тому же обладающих растворимостью в воде, является наиболее технологичным с точки зрения приготовления данного типа смесей.

Смеси с указанными соединениями можно отнести к самотвердеющим лишь условно, поскольку период их упрочнения длительный (в основном более 24 ч, в зависимости от размеров литейной формы). Интенсифицировать процесс можно при нагреве ($150\ldots300^\circ\text{C}$). Смесь с полифосфатом натрия после 1 ч теплового отверждения (150°C) имеет прочность на сжатие не менее 2,5 МПа, а смесь с хлоридом натрия после теплового отверждения (300°C) – не менее 2,0 МПа. Такая прочность является достаточной для применения смесей в качестве стержневых, которые упрочняются в горячей оснастке.

Формы, изготовленные из двух исследованных смесей, заливали высоколегированной сталью 20Х25Ю2ТЛ при температуре 1560°C . Качество поверхности отливок хорошее.

Список литературы:

1. Дорошенко С.П., Авдокушин В.П., Русин К., Мацашек И. Формовочные материалы и смеси. – К.: Вища школа, 1980. – 416 с.
2. Селиванов Ю.А., Иванова Л.А. Процессы формообразования на основе стабилизированного кремнезёма. – К.: Лыбидь, 1991. – 226 с.

УДК 621.74.045

В. Ф. Мазорчук

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАЛЕГАНИЯ УСАДОЧНОЙ РАКОВИНЫ В ТЕЛЕ СЛИТКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЛАВАЮЩЕЙ ПРИБЫЛЬНОЙ ВСТАВКИ

Методом компьютерного моделирования определяли уровень залегания усадочной раковины в теле слитка при использовании плавающей прибыльной вставки (ППВ) взамен ее футеровки.

Компьютерное моделирование проводили в СКМ «Полигон». Определение глубины залегания усадочной раковины проводили для слитка массой 2,7 т при использовании ППВ с толщиной стенки 25 и 50 мм. Для моделирования теплофизические свойства материала слитка (сталь 20) и чугунной изложницы заимствованы из работы [1].

При постановке задачи, с точки зрения моделирования в СКМ «Полигон», приняли, что ППВ является частью изложницы и, по сути, это её комбинированный элемент. Расчет проводили для стального слитка $\varnothing 460 \times 2000$ мм. Материал слитка - сталь 20. Результаты моделирования представлены на рис. 1 в виде схем распределения усадочных дефектов в серийном слитке (см. рис. 1. а) и слитков с ППВ при $X = 25$ мм (см. рис. 1. б) и при $X = 50$ мм (см. рис. 1. в).

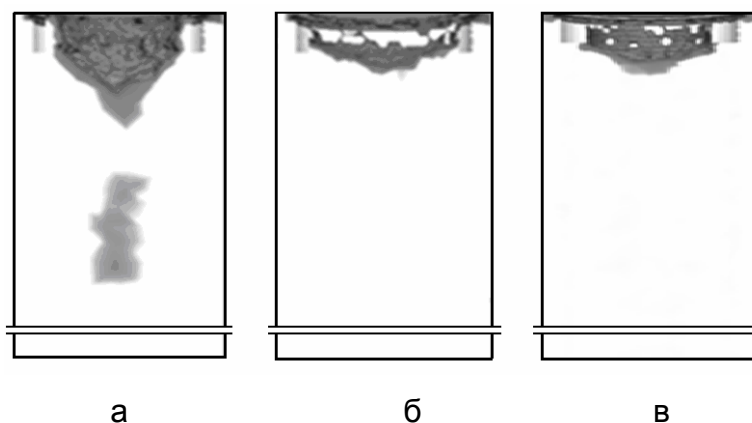


Рис.1. Схема распределения усадочных дефектов в слитке с прибыльной вставкой по существующей технологии (а), с ППВ при $X=25$ мм (б) и $X=50$ мм (в)

Анализ полученных результатов показывает, что использование ППВ для утепления прибыльной части изложниц при изготовлении слитков не только уменьшает глубину залегания усадочной раковины в слитке, но и эффективно для устранения пористости в его подприбыльной части. Целесообразность и эффективность использования разработанной технологии подтверждается проведенными опытно-промышленными испытаниями плавающей прибыльной вставки [2].

Список литературы

1. *Баландин Г. Ф.* Основы теории формирования отливки / Геннадий Федорович Баландин – М.: Машиностроение, 1976. – 327 с.
2. Определение температурного поля плавающей прибыльной вставки / *В. Е. Хрычиков, В. Ю. Селиверстов, В. Ф. Мазорчук, Р. В. Усенко* // *Металлургическая и горнорудная промышленность* – 2008. – №3. – С. 36-38.

УДК 621.742/743:666.76

І. І. Максjuta, Ю. Г. Квасницька, О. В. Михнян

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, г. Київ

КОМПЛЕКСНОМОДИФІКОВАНА СТРИЖНЕВА СУМІШ ДЛЯ ВИЛИВКІВ З ОРІЄНТОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ

Найважливішим фактором забезпечення якості при виготовленні найбільш відповідальних деталей високотемпературних турбін - робочих та направляючих

лопаток методом точного лиття за моделями, що виплавляються, є вибір матеріалів вогнетривкого керамічного оснащення.

Форма і стрижень забезпечують потрібні геометричні розміри виливків, надають їх поверхні необхідну шорсткість, але внаслідок взаємодії з вогнетривкими матеріалами в значній мірі можуть впливати на хімічний склад вилівка і, отже, на його властивості. Особливо це стосується методу формування орієнтованої структури виливків, що передбачає довготривалий процес кристалізації тобто взаємодії системи "розплав – вогнетрив".

Співробітниками лабораторії точного лиття жароміцних сплавів ФТІМС НАН України для складнопрофільних виробів – деталей ГТУ з повітряним охолодженням (соплові та робочі лопатки) запропонована суміш для виготовлення ливарних керамічних стрижнів, що містить вогнетривкий наповнювач – корунд (Al_2O_3), легкоплавкий пластифікатор – парафін з поліетиленом, в якості зміцнюючої добавки виступає кремній. Суміш має достатню міцність, але, в умовах використання жароміцних сплавів з підвищеною температурою плавлення та тривалого контакту метал-стрижень за рахунок спрямованої кристалізації, необхідно підвищувати такий показник як термостійкість ливарних стрижнів.

Поставленою метою для даної розробки було підвищення термостійкості керамічних стрижнів, що досягається за рахунок комплексного модифікування відомої вогнетривкої суміші порошком алюмінію (0,5 - 3,0 %) і кремнію (0,5 - 3,0 %). Додаткове введення порошку кремнію інтенсифікує процес спікання, який відбувається за рахунок виділення молекул SiO_2 .

При застосуванні такого складу стрижневої суміші термостійкість стрижня підвищується за рахунок того, що алюміній вступає в реакцію з корундом, внаслідок чого в суміші утворюється зміцнююче зв'язуюче – мулліт $3\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2$. Кількість алюмінію менш ніж 0,5% недостатньо збільшує термостійкість стрижнів, а у збільшенні кількості алюмінію більш як 3% мас. не має потреби, тобто у пропонованому інтервалі досягається достатня для стрижнів міцність.

Технологія приготування стрижневої суміші не відрізняється від звичайної і полягає в розплавленні пластифікатору, введенні порошку кремнію та алюмінію в розплавлений пластифікатор, ретельному їх перемішуванні. Потім в суміш вводиться розплавлений вогнетривкий наповнювач та суміш ретельно перемішується. Термообробку стрижня проводять в засипці зі швидкістю 50 °C/год до температури 600 °C, потім зі швидкістю 100-150 °C/год до температури 1250 °C та витримують 2 години.

Пропонована стрижнева суміш дозволяє зменшити кількість браку литих лопаток з причини поломки стрижнів за рахунок збільшення їх термостійкості та міцності, знизити витрати на матеріали при виготовленні стрижнів порівняно з традиційними матеріалами, передбаченими технічним регламентом на виробничих потужностях газотурбобудівної галузі України.

УДК 669.14.018

И. И. Максютa, А. В. Нейма

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОЛОЧКОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ФОРМ ПО УДАЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Анализ современных тенденций развития литейного производства показывает, что для производства деталей сложного геометрического профиля достаточно перспективной является технология получения точных изделий по пенополистироловым газифицируемым моделям. Однако существенным недостатком использования этих моделей является то, что при высоких температурах во время заливки металла поверхность формы может насыщаться продуктами сгорания пенополистирола с выделениями фракций, основой которых являются соединения углерода. Таким образом, вследствие процесса деструкции модели будет происходить интенсивное насыщение поверхности отливки углеродом. Но жаропрочные сплавы для наиболее нагруженных деталей ГТД, в том числе для рабочих и сопловых лопаток, должны иметь для обеспечения необходимого уровня эксплуатационных характеристик строго контролируемое содержание углерода – не более 0,1-0,2 %. Следовательно, вышеупомянутый процесс не может быть использован по принятым в промышленности технологическим регламентам для изготовления литых лопаток ГТД из жаропрочных сплавов на основе железа, никеля и кобальта.

Исходя из вышесказанного, перспективным является разработка технологически и экономически более рационального процесса удаления модели и продуктов ее деструкции методом растворения.

Проблема удаления модели из полости формы может быть решена за счет подбора соответствующего растворителя, позволяющего перевести пенополистироловую модель в жидкую и газообразную фазы. После этого этапа основной задачей будет разработка способа полного удаления продуктов растворения модели из полости оболочки.

Для решения поставленной задачи во ФТИМС НАНУ проводится комплекс экспериментов для подбора соответствующего растворителя, позволяющего максимально перевести пенополистироловую модель в жидкую и газообразную фазы и обеспечить минимизацию воздействия продуктов деструкции и растворителя на кристаллизующую отливку. Важным показателем целесообразности внедрения того или иного растворителя должна являться возможность вторичного использования продуктов растворения. Как было показано ранее, жидкие продукты деструкции представляют собой крупные осколки полимерной цепи полистирола, нелетучие при температуре заливки металла. Жидкие продукты под действием тепловой энергии расплава на границе металл-форма подвергаются дальнейшей деструкции до образования твердых, паро- и газообразных летучих компонентов.

Планируется изучение процессов взаимодействия растворителя с моделью, анализ формирования специфических дефектов формы при образовании продуктов деструкции пенополистирола, определение температурно-временных параметров процессов растворения, составление технологического регламента процесса.

Для выплавки во ФТИМС НАНУ заготовок и натурных деталей вакуумно-индукционным методом на промышленной печи УППФ-2 из жаропрочных сплавов на никелевой, кобальтовой, железной основах будут использоваться серийные марки сплавов, принятых на предприятиях газотурбостроения Украины. При изготовлении формы в качестве базовой технологии будет использован регламент ТИ 260-424-91, принятый к серийному производству форм на предприятиях ГП НПКГ «Заря-Машпроект» (г. Николаев), ОАО «Мотор Сич» и ЗМКБ «Прогресс» (г. Запорожье).

После проведения анализа научно-патентной литературы для проведения экспериментов были выбраны такие растворители как толуол, ацетон, растворители №646 и 647.

ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСОБЕННОСТИ МАКРО- И МИКРО- СТРУКТУРЫ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Известно, что к основной группе факторов, влияющих на фазово-структурные параметры ориентированной макро- и микроструктуры отливок и определяющих уровень эксплуатационных характеристик, относятся, наряду с составом ингредиентов, теплофизические свойства сплава (T_S , T_L) и технологические режимы процесса кристаллизации (градиент температуры G на фронте кристаллизации и скорость кристаллизации $V_{кр}$).

В данной работе проанализированы корреляционные связи между технологическими параметрами процесса кристаллизации, макро-, микроструктурой и эксплуатационными характеристиками жаропрочного сплава типа ЧС 104, что даёт возможность отработать технологический процесс получения лопаток ГТУ определенного типоразмера с регулярной ориентированной (монокристаллической) структурой.

Цилиндрические поликристаллические заготовки для модельных сплавов выплавлялись во ФТИМС НАНУ из первичной шихты на литейных агрегатах УППФ-2 (Россия, г. Ржев) по разработанной для сплавов этого класса технологической карте (давление в печи 1,2-2,5 Па, температура заливки в формы 1560-1580 °С, температура формы - 800 °С). Отработку температурно-скоростных параметров процесса получения отливок с образцами-свидетелями проводили в условиях комбинированного (радиационного и конвективного) охлаждения формы (жидкий алюминий) при вариациях скоростей кристаллизации $V_{кр.} = 5; 10$ мм/мин на высокоградиентной установке для направленной кристаллизации УВНК-8П совместно с ГП НПКГ “Зоря” – “Машпроект”, г. Николаев.

Литые заготовки опытных образцов и лопаток подвергали двухступенчатой термической обработке в вакууме. Температуры основных фазовых превращений (T_S , T_L , $T_{п.р.}$ - полного растворения γ' -фазы) определяли методом высокотемпературного дифференциального термического анализа (ВДТА) на установке ВДТА- 8М с точностью 5 °С.

Для исследования макро- и микроструктуры применяли световой «Neofot 2» и электронный «ЭМВ-100ЛМ» микроскопы. Распределение легирующих элементов между фазами изучалось на микроанализаторах JXA8600 фирмы JEOL (Япония) и Cameca - MS46 фирмы CAMECA (Франция). Механические испытания образцов на кратковременную прочность выполняли на стандартных цилиндрических образцах с рабочей частью диаметром 5 и длиной 25 мм по ГОСТ 9651-84 при температурах 20, 700...950 °С. Испытания на длительную прочность проводили по ГОСТ 10145-81.

Междендритное расстояние λ рассчитывали как среднестатистическое между дендритными осями первого порядка, измеренное в кратчайшем направлении, т.е. $\langle 001 \rangle$, и определяемое графически с помощью среднего расстояния λ на поперечном сечении слитка произвольной ориентации. Для статистической достоверности рассматривали не менее 3-ех полей зрения в 5 зернах. Количественное измерение объемной доли и размера фазовых составляющих проводили на анализаторе «Квантимет-720», совмещенном с растровым микроскопом JSM-840. Относительная точность определения указанных величин составила 5-10 %. Для измерения коэффициентов ликвации легирующих элементов использовали количественный поэлементный анализ, проводимый методом МРСА.

Было определено, что степень дисперсности фазовых составляющих более чувствительна к химическому составу сплава, чем размер дендритной ячейки, так как, определяется диффузией в твердом состоянии, существенно зависящей от соотношения легирующих элементов в сплаве, в отличие от коэффициента диффузии в расплаве. Металлографическим анализом подтверждено, что в осях и межосных пространствах форма и размеры частиц γ' -фазы существенно различаются. При этом степень дисперсности эвтектической γ' -фазы, располагающейся в межосных пространствах в виде «островков» неправильной формы, зависела как от скорости охлаждения в твердо-жидкой области, где возникали зародыши эвтектики, так и от диффузии в твердом состоянии, контролирующей гетерогенный рост этих зародышей, причем последние служили подложкой для выделяющихся частиц.

О ЛЕГИРОВАНИИ ФТОРФЛОГОПИТОВОГО КАМНЕЛИТОГО МАТЕРИАЛА ДИОКСИДОМ ЦИРКОНИЯ

Применяемые в основных агрегатах титано-магниевого производства – хлораторах и электролизерах в качестве футеровочных материалов или конструктивных узлов фторфлогопитовые фасонные изделия в ряде случаев имеют недостаточный ресурс работы. Поэтому разработка методов получения и материалов, способных повысить эксплуатационную надежность и увеличение ресурса работы этих агрегатов является актуальной и экономически целесообразной задачей. В этой связи перспективными могут быть фторфлогопитовые материалы, легированные такими тугоплавкими компонентами как карбиды и оксиды. Среди этих соединений весьма перспективным является диоксид циркония, который по сравнению с другими оксидами обладает термодинамической стабильностью до 1727°C, высокими огнеупорностью (2730°C) и коррозионной стойкостью. Это позволяет прогнозировать получение материалов в системе фторфлогопит- бадделеит отличающихся более высокими физико-механическими характеристиками.

Изучение влияния легирования диоксида циркония на структуру и свойства плавленолилитых материалов проводили по апробированной методике [1] на составах, содержащих 0,3-30 мас.% ZrO_2 . В качестве шихтовых компонентов использовали сырье, применяемое обычно для получения фторфлогопитовых изделий: кварцевый песок, глинозем, периклазовый порошок и калий кремнефтористый. Диоксид циркония вводили посредством природного минерала циркона ($ZrSiO_4$), который отличается относительно невысокой температурой диссоциации ($1676 \pm 10^\circ C$): $ZrSiO_4 \rightarrow ZrO_2 + SiO_2$. Наличие щелочных оксидов и фторидов в составе фторфлогопитовой шихты при ее плавлении способствует диссоциации циркона при более низкой температуре с образованием кремнезема, который по расчету должен войти в состав фторфлогопита. Поэтому при расчете шихт учитывали поправку на количество кремнезема, вводимое цирконом, уменьшая соответственно количество кварцевого песка в составе шихты. Масса шихты, проплавляемой на каждой

плавке в электродуговой печи, составляла 25-30 кг. Полученный расплав по окончании плавки выпускали в разливочный ковш и заливали в литейные формы.

Особенности строения и физико-механические свойства плавленолитых материалов изучали на шлифах, темплетях и образцах, вырезанных с помощью алмазных пил из опытных отливок.

Анализ результатов проведенных плавок показал возможность получения легированных материалов при введении диоксида циркония до 30%. При этом с увеличением его количества в материале возрастает вязкость фторфлогопитового расплава, а также длительность плавки.

Макроструктура изученных материалов при введении ZrO_2 в небольших количествах (до 3,5 мас.%) полнокристаллическая, сравнительно равномерная и практически аналогична обычному фторфлогопитовому материалу. Полученные материалы отличаются более светло-серым до молочного цветом и сложены в основном мелкопластинчатыми кристаллами фторфлогопита первой генерации размером 0,7-1,5 мм, в промежутках между которыми располагаются более мелкие образования фторфлогопита, бадделеита- ZrO_2 , селлаита- MgF_2 и стеклофазы. Размер кристаллов бадделеита ~0,14 мм. Количество стеклофазы до 4 об.%. По мере увеличения вводимого ZrO_2 от 5 до 30% структура материалов становится более однородной и мелкокристаллической. Размер

кристаллов фторфлогопита существенно уменьшается и составляет 0,5-0,05 мм. Фазовый состав также изменяется: количество фторфлогопита уменьшается с 90 до 40 об.%, бадделеита увеличивается согласно расчету. Вместе с тем появляется циркон в виде отдельных зерен при введении ZrO_2 до 5 мас.%, а при увеличении до 20-30 мас.% количество циркона возрастает до 10-15 об.%.

Анализ результатов изучения строения и фазового состава полученных материалов позволяет прийти к следующему заключению. Образование значительного количества основного минерала-фторфлогопита говорит о том, что синтез его из рассчитанных шихт проходит успешно и в полном объеме. Однако, наличие в материалах остаточного циркона при введении его более 10 мас.%, свидетельствует об изменении в процессе плавки кинетики диссоциации, одним из факторов которой является резкое повышение

вязкости расплава. Повидимому для полного усвоения циркона необходимо увеличить температуру или продолжительность плавки.

Физико-механические характеристики полученных материалов следующие: предел прочности при сжатии- 70-90 МПа, предел прочности при изгибе- 22-25 Мпа, термостойкость при 700°С не менее 200 теплосмен, при 900°С – 50-100 теплосмен. Микротвердость составляет 350-390 кг/мм², в то время как обычного фторфлогопитового-250-270 кг/мм².

Таким образом, высокие прочностные характеристики и микротвердость позволяют считать, что полученные материалы будут существенно сопротивляться локальным нагрузкам и обладают высокой конструкционной прочностью.

Металлопроводы, изготовленные из этих материалов и испытанные в промышленных условиях при литье под низким давлением алюминиевых сплавов показали высокую эксплуатационную стойкость:ресурс их работы в режиме 3-сменной работы составил 4-6 недель.

Список литературы

1. *Малявин А. Г.* Исследование и разработка технологии получения фасонного фторфлогопитового каменного литья. – Канд. дисс. ИПЛ АН УССР, Киев, 1983.

УДК 621.746: 669.18

В. А. Мамишев

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РЕОТЕРМИЧЕСКИХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГЕТЕРОЛИТЬЯ

Применение системного анализа [1] к изучению многофакторных процессов литья позволило выявить эффективные литейно-металлургические принципы [2,3] повышения качества литой структуры стальных слитков, отливок, центробежно- и непрерывнолитых заготовок разной массы, геометрии и габаритных размеров. К ним относятся принципы суспензионной разливки, оса-

дочной кристаллизации, направленного затвердевания и рафинирующей подпитки, которые отражают разные стороны реотермических схем управления технологическим процессом гетеролитья [2].

В схемах суспензионной разливки реализуется возможность получения суспензии расплав-кристаллы в полости формы при снижении температуры расплава твердыми добавками до температур ниже температуры ликвидуса сплава. Так как начальный перегрев расплава снят, то в интервале температур ликвидус-солидус происходит неизотермический процесс кристаллизации сплава, а гетерогенный расплав находится в текучем жидко-твердом состоянии.

В схемах осадочной кристаллизации реализуется возможность расслоения суспензии расплав-кристаллы в поле гравитационных или центробежных сил. Так как плотность кристаллов (твердая фаза) больше плотности расплава (жидкая фаза), то в неизотермической двухфазной зоне происходит седиментация (осаждение) твердых частиц. При этом кристаллы и обломки дендритов опускаются на фронт затвердевания литой заготовки.

В схемах направленного затвердевания реализуется возможность локального утолщения затвердевающего слоя литого изделия в направлении температурного градиента от поверхности заготовки к ее тепловому центру противоположно технологически заданному направлению теплового потока. Опускание кристаллов в неизотермическом расплаве и их накопление на фронте кристаллизации ускоряет процесс затвердевания литых заготовок.

В схемах рафинирующей подпитки фронта затвердевания слитка или массивной отливки реализуется возможность удаления из объема прибыли загрязненного ликватами расплава с легкоплавкими примесями (сера, фосфор). Так как в расплаве ликвидирующих вредных примесей больше чем в кристаллах, то для капиллярной пропитки дендритного каркаса двухфазной зоны расплавом без ликватов нужна доливка рафинирующей прибыли более чистым металлом.

Чтобы улучшить качество литой структуры слитков и отливок, следует совместить принципиально разные схемы суспензионной разливки в режиме осадочной кристаллизации и направленного затвердевания в режиме рафинирующей подпитки в один высокотехнологичный процесс гетеролитья. Это позволяет получить первичную структуру затвердевающих слитков и отливок с минимальным развитием физической, химической и структурной неоднородности литого металла и минимальным количеством внутренних дефектов литых изделий типа кристаллизационных трещин.

Следует также уменьшать количество поверхностных дефектов литья (микро- и макротрещины), которые возникают в температурно-неоднородных наружных слоях отливок и слитков. Это достигается [3] при теплофизическом воздействии на процесс формирования литых изделий высокотеплопроводных коллекторов-теплоотборников каркасного типа, которые размещены в стенках низкотеплопроводных литейных форм. Коллекторы-теплоотборники формируют в наружных слоях отливок и слитков термически упрочненные структурно-армированные литые оболочки с внутренними ребрами жесткости и высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств литых заготовок. .

Системный анализ реотермических процессов литья с перемешиванием гетерогенного расплава облегчает поиск эффективных схем управления качеством отливок и слитков с применением литейно-металлургических и конструктивно-технологических схем улучшения кристаллического строения внутренних и поверхностных слоев литых изделий разной массы и геометрии.

Список литературы

1. *Самойлович Ю. А.* Системный анализ кристаллизации слитка. - К.: Наук. думка, 1983. - 246 с.
2. *Мамишев В. А.* Реотермическая концепция управления кристаллическим строением литых изделий // Процессы литья. – 2004. – №3. – С. 43 – 48.
3. *Мамишев В. А.* О повышении эффективности теплообмена в системе “литая заготовка – форма – окружающая среда” // Металл и литье Украины. – 2012. – № 11. – С. 31–35.

УДК 621.746: 669.18

В. А. Мамишев, О. И. Шинский, Л. А. Соколовская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

РОЛЬ ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ ОТЛИВОК В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ

При литье в постоянные металлические формы (кокили) интенсивный теплоотвод от отливки в кокиль позволяет получить мелкокристаллическую структуру отливок с высоким уровнем физико-механических свойств литого металла.

Но из-за очень низкой податливости и газопроницаемости кокилей резко увеличивается вероятность возникновения в отливках горячих трещин [1].

Поэтому широко применяются разовые песчаные формы и литейные стержни. При заливке расплава в песчаные формы проявляется их основное преимущество – высокая податливость и газопроницаемость. Это уменьшает вероятность появления в отливках опасных напряжений и горячих трещин.

Однако, при тепловом взаимодействии стенок формы с жидким металлом рабочие слои песчаной формы быстро разогреваются до высоких температур из-за ее низкой теплопроводности [1,2]. Это замедляет процесс затвердевания отливок в песчаной форме и приводит к образованию крупнокристаллической структуры литого металла с низким уровнем его физико-механических свойств.

Теплообмен между затвердевающей отливкой и песчаной формой целесообразно интенсифицировать [3], чтобы получить более мелкую структуру отливок и повысить уровень их прочностных и пластических свойств. Для этого можно применять полностью или частично замороженные песчаные формы.

При теплофизическом воздействии расплава на замороженную форму ее рабочие слои нагреваются от отрицательных температур до 0°C . При этой температуре расплавляются прослойки льда между песчинками формы. На их плавление идет часть теплоты, полученной от затвердевающей отливки. Когда рабочие слои формы нагреваются до 100°C , испаряются пленки воды между песчинками. На их испарение также расходуется теплота, теряемая отливкой. .

Поэтому в зоне термического контакта отливки с формой теплообмен интенсифицируется, увеличивая скорость охлаждения поверхностных слоев отливки, что приводит к измельчению кристаллической структуры ее наружных слоев и повышает прочностные и пластические свойства литого металла.

Следовательно, применение замороженных песчаных форм позволяет ускорить теплоотвод от отливки в форму, используя тепловые эффекты фазовых переходов при плавлении прослоек льда и испарении пленок воды в рабочих слоях предварительно замороженных форм или литейных стержней.

При получении отливок в замороженных песчаных формах в наружных слоях затвердевающей отливки по всей поверхности ее контакта с формой полезно сформировать сплошную литую оболочку более плотного металла. Для дополнительного упрочнения полученной оболочки можно применять [1] высокотеплопроводные металлические коллекторы-теплоотборники каркасного типа, размещенные в стенках низкотеплопроводной песчаной формы.

Для выбора эффективных режимов теплофизического взаимодействия затвердевающей отливки с обычной или замороженной песчаной формой и рациональной интенсификации теплообмена между отливкой и формой следует применить метод математического моделирования нестационарных температурных полей в системе отливка-форма-окружающая среда [4].

При проведении расчетов температурных полей на ПЭВМ можно определить скорости охлаждения и скорости затвердевания отливок в разных формах для получения кристаллической структуры отливок без образования опасных дефектов типа горячих трещин и повышения физико-механических и служебных свойств литых деталей в условиях их эксплуатации.

Список литературы

1. Мамишев В. А. О повышении эффективности теплообмена в системе “литая заготовка – форма – окружающая среда” // *Металл и литье Украины*. – 2012. – № 11. – С. 31–35.
2. Мамишев В. А., Шинский О. И., Соколовская Л. А. Системный анализ процесса затвердевания литых заготовок разной массы и назначения // *Процессы литья*. – 2010. – № 1. – С. 20–24.
3. Мамишев В. А., Шинский О. И., Соколовская Л. А. О теплофизическом взаимодействии слитка с изложницей и отливки с формой в период формирования литой структуры // *Литье и металлургия*. – 2008. – № 3 (48). – С. 307–309.
4. Соколовская Л. А., Мамишев В. А. О математическом моделировании задач с фазовыми переходами в металлургии и литейном производстве // *Процессы литья*. – 2009. – № 2. – С. 24 – 29.

ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ РАБОЧЕГО СЛОЯ ОТЛИВОК ПУТЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

К поверхностным слоям изделий, как правило, предъявляются повышенные требования по износостойкости, твердости, термостойкости, устойчивости против коррозии и т.д., которые достигаются применением известных методов химико-термической обработки или электролитических покрытий. Однако этими методами не удастся получить толщину слоя с нужными свойствами более чем 0,3 мм, что явно недостаточно для крупных литых деталей типа броневых плит углеразмольных мельниц, валков прокатных станов и т.д.. Толщина поверхностного слоя со специальными свойствами в таких отливках должна быть не менее 5-10 мм. Такой слой с большими затратами труда и дорогих материалов обычно получают наваркой.

Указанных недостатков лишен способ поверхностного упрочнения, когда диффузионное насыщение и процесс изготовления совмещены в единый процесс. Такая комбинация возможна только при изготовлении деталей методами литья. При этом получают упрочненные слои, имеющие толщину до 8 мм, обладающие высокими износостойкостью и пластичностью слоя [1].

Наиболее перспективны методы легирования, когда на форму наносится слой обмазки, содержащей легирующие элементы или тугоплавкие соединения, которые в процессе формирования отливки насыщают ее поверхность; применяется также засыпка порошков на дно подогретой формы, в которую производят заливку металла. В результате на поверхности отливки образуется насыщенный твердыми частицами износостойкий композиционный слой. Количество твердых частиц в получаемом износостойком слое находится в пределах 35-50%(объемных) и зависит от исходной пористости порошка или обмазки.

С целью повышения физико-механических свойств рабочего слоя отливки и выбора оптимального легирующего материала в состав исходного керамического покрытия поочередно вводили карбонитрид титана, карбид хрома и карбид вольфрама в виде нанодисперсных порошков с размером частиц до 100 нм; в качестве связующего использовали жидкое натриевое стекло.

Установлено, что из всех вышеперечисленных материалов для легирования металлокерамического слоя наилучшие результаты по воздействию на макро- и микроструктуру чугуна оказывает нанодисперсный порошок карбонитрида титана (TiCN). При использовании этого компонента происходит легирование рабочего слоя отливки на глубину 5–10 мм. Кроме того, карбонитрид титана имеет наиболее высокую микротвердость (32000 МПа) из известных карбидов и карбонитридов.

Анализ микроструктуры показал, что рабочий слой состоит из мелкодисперсных графитных включений, нанодисперсных частиц карбонитрида титана и мартенсита или бейнита.

Установлено, что жидкий чугун фильтруется в поры покрытия под действием капиллярных сил, возникающих при активном термохимическом взаимодействии покрытия с жидким чугуном [2].

Разработанная технология является перспективным способом упрочнения рабочей поверхности деталей, работающих в условиях повышенных температур и агрессивных сред.

Список литературы

1. *Гурьев М.А., Иванов А.Г., Иванов С.Г., Гурьев А.М.* Упрочнение литых сталей поверхностным легированием из борсодержащих обмазок // *Успехи современного естествознания.* – 2010. – №3 – С. 123
2. *Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А., Меняйло Е.В.* Теория и практика модифицирования чугуна ультра- и нанодисперсными материалами // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2010 – №5 – С.41-45.

УДК 621.74

М. О. Матвеева, Ю. М. Бура

Національна Металургійна Академія України, Дніпропетровськ

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЛИВНИКОВО-ЖИВЛЯЧОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЛИТТЯ БЮГЕЛЬНИХ СТОМАТОЛОГІЧНИХ ПРОТЕЗІВ

Бюгельний протез – це різновид частково-знімних протезів зі зручною, міцною та довговічною конструкцією. На відміну від багатьох інших знімних протезів, жувальне навантаження в бюгельних протезах, завдяки спеціальному

металевому дуговому каркасу, розподіляється по всій щелепі, а не лише на опорні зуби. Головною передумовою для отримання повноцінно відлитого виливка бюгельного стоматологічного протезу є правильно побудована ливниково-живляча система.

Аналіз технічної та патентної літератури показав, що у практиці стоматологічного лиття існує класифікація ливниково-живильних систем, яка враховує лише складність та вагу стоматологічного виливка. Тому постає завдання вдосконалення ливниково-живильної системи для лиття бюгельних стоматологічних протезів.

Розроблені рекомендації що до встановлення ливниково-живлячої системи для лиття бюгельних протезів різної складності та ваги на моделі методом вакуумного лиття під тиском.

Для масивних виливків піднебінної дуги верхньої щелепи з двома, трьома кламерами, піднебінної дуги для комбінованої роботи та литого базиса (0,4 мм) з двома, трьома кламерами встановлена доцільність використання двох плоских ливника 2,0 мм x 4,5 мм (рис. 1).

Для менш масивних виливків нижньої щелепи, а саме під'язикової дуги з двома кламерами та під'язикової дуги з многозвіньовим кламером, рекомендуємо встановлення двох круглих ливників 3,0 – 3,5 мм.

Канали ливників повинні підніматися рівномірно від каркаса до ливникової воронки. Щоб вони не охолонули занадто швидко, вони встановлюються у центрі опоки. У місцях приєднання сплав повинен мати шлях потоку у форму в прямому подовженні напрямку течії. Ливникові канали ретельно підливаються до виливка, не звужуючись в місцях приєднання.

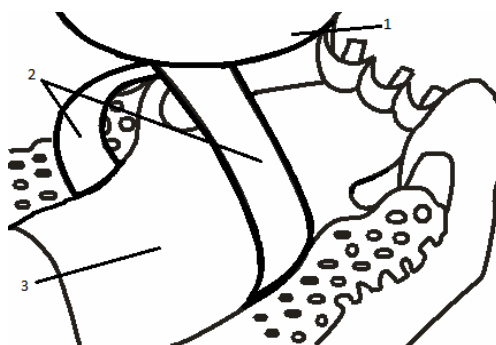


Рисунок 1 – Ливниково-живляча система для піднебінної дуги комбінованої роботи: 1 – ливникова воронка; 2 – два плоских ливника; 3 – каркас бюгельного протеза

Для живлення усадки металу рекомендуємо застосування ливникових резервуарів (надливів), які необхідно розташовувати безпосередньо в області встановлення каналу ливника. Між змодельованим виливком і надливом має дотримуватися достатня відстань (близько 2 мм) для подальшого обрізання диском. Надлив повинен мати більший діаметр ніж виливок - не менше 8 мм.

Ливникова воронка встановлюється на рівні найвищої точки змодельованого каркасу, що дозволяє зменшити довжину ливників і відповідно скоротити витрати металу необхідного для отримання виливка. Ливникова воронка встановлюється у центрі, по середині опоки.

Висновки

Розроблені рекомендації щодо встановлення ливниково-живильної системи при литті бюгельних стоматологічних протезів, які надають можливість отримувати виливки без дефектів.

УДК 627.771:07

М. О. Матвеева, Б. В. Климович, В. В. Климович

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВАНАДИЕМ, ТИТАНОМ И АЗОТОМ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЧУГУНОВ

Задача получения технологичного чугуна, который бы в определенных условиях эксплуатации обеспечил экономически целесообразный уровень долговечности литых деталей, имел определенную универсальность и сочетал определённый комплекс эксплуатационных свойств, остается актуальной.

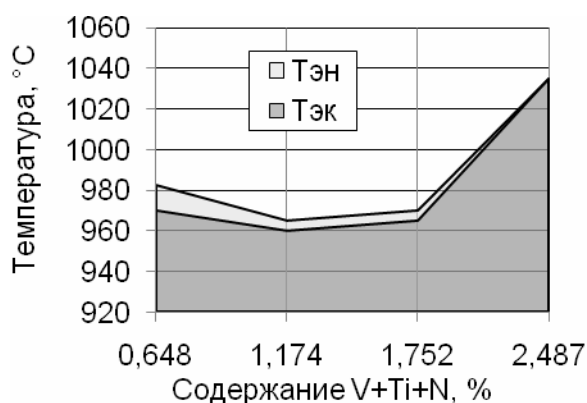
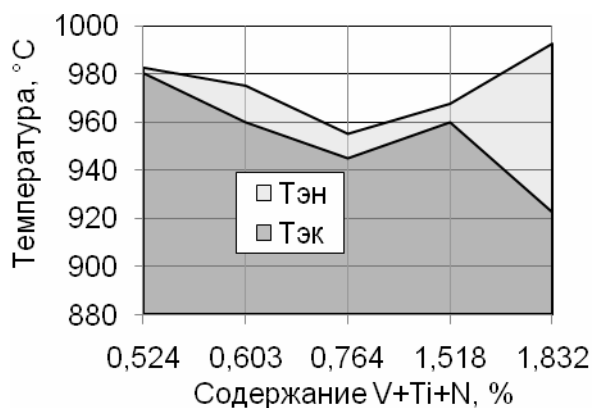
Свойства чугунов определяются микро- и макроструктурой, формирующейся в процессе кристаллизации и графитизации при затвердевании. Исследовали влияние легирования ванадием, титаном и азотом на температурные параметры кристаллизации чугунов опытных отливок; анализировали их структуру и свойства. Температурные параметры кристаллизации экспериментальных сплавов исследовали методом высокотемпературного дифференциального анализа (ВДТА).

С использованием азотированного феррованадия проведено несколько серий плавов, остановимся на двух. В серии В1 исследовали влияние возрастающего содержания ванадия при постоянном количестве титана на параметры

кристаллизации. С увеличением количества V+Ti возрастает температура начала эвтектической кристаллизации, температура окончания – снижается, соответственно интервал кристаллизации увеличивается (рис. 1, а). Азот в этой серии плавок нивелировал воздействие ванадия и титана, но их влияние было преобладающим, что подтверждают рассчитанные коэффициенты корреляции.

В серии В2 исследовали влияние возрастающего количества ванадия и титана на параметры кристаллизации. В этой серии плавок температуры начала и конца эвтектической кристаллизации увеличивались с ростом концентрации ванадия и титана, а также всего легирующего комплекса в сумме (рис. 1, б), несмотря на противоположное влияние азота. Соответственно уменьшался практически до «0» интервал эвтектической кристаллизации. Следует так же отметить, что сплавы с содержанием 2,19 % V и 0,29 % Ti имели во всей серии с применением азотированного феррованадия наиболее высокую температуру $T_{ЭН}$ и $T_{ЭК}$ – 1035 °С при минимальном интервале кристаллизации.

В серии В2 температуры $T_{ЭН}$ и $T_{ЭК}$ выше на 30 – 40 °С по сравнению со сплавами серии В1.



а

б

Рис. 1 – Влияние легирования на параметры кристаллизации чугунов

Выводы

Температуры начала и окончания эвтектической кристаллизации могут неоднозначно влиять на качество отливок. Если литье готовят под пластическую деформацию, то лучше, чтобы эти температуры были выше. Если нет, то нагрев до более высоких температур, требует большего расхода энергии. Поэтому полученные результаты позволят выбрать сплав с необходимыми параметрами для дальнейшего использования.

В тоже время, чем меньше интервал кристаллизации сплава, тем лучше для отливок: не успевает пройти ликвация, выше литейные свойства, меньше пористость.

УДК 627.771:07

М. О. Матвеева, А. А. Макарова

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЧУГУНОВ В КИСЛОЙ СРЕДЕ

Чугун – один из самых востребованных материалов на сегодняшний день. В современной промышленности все чаще используются агрессивные среды, высокие температуры и давления. Поэтому есть необходимость в расширении номенклатуры чугунов с повышенными эксплуатационными свойствами, в том числе коррозионной стойкостью, за счет их рационального легирования.

Повышение стойкости чугуна к коррозии может быть достигнуто предотвращением образования графита и легирования матрицы, за счет образования на поверхности металла пассивирующих пленок, путем создания стабильной аустенитной матрицы. Марганец тормозит выделение графита, тем самым уменьшая его количество, выделяющееся при кристаллизации, и повышает растворимость углерода в аустените. Поэтому исследования по определению влияния легирования марганцем (до 4,0 %) на коррозионно-химическое поведение чугуна являются актуальными.

Коррозионные свойства оценивали по анодным кривым, полученным потенциодинамическим методом в 5%-ном растворе серной кислоты. Данный метод оценки коррозионной стойкости и его преимущества описаны в работе [1].

Результаты анализа анодных поляризационных кривых в кислой среде приведены в табл. 1.

Анализ параметров анодных поляризационных кривых показал существенное влияние марганца в чугунах в количестве от 1,15 до 3,50 %.

В кислой среде наблюдается изменение всех областей анодной поляризационной кривой. Ход кривых в активной области снижается и максимальная плотность тока уменьшается в зависимости от содержания марганца в чугуне. Наибольшее влияние оказывает марганец в количестве 3,50 %, при этом появляются четко выраженные вторые пики на кривой. Это может быть связано с образованием защитной пленки, которая образуется из разных по составу соединений и первые из них наименее стойкие. При легировании марганцем в количестве 1,15 % также наблюдается значительное снижение плотности тока и защитная пленка, которая образуется более стабильной и плотной.

Таблица 1

Результаты поляризационных исследований экспериментальных чугунов

Содержание марганца, %	Параметры анодных поляризационных кривых		
	i_{\max} растворения, А/м ²	φ начала пассивации, В	пассивная область ($\Delta\varphi$), В
1,15	833	0	1,1
1,70	1592	0,1	0,7
2,05	1700	0,1	0,9
2,70	1197	0,30	1,2
3,50	1715	0,35	1,1

Легирование марганцем расширяет область пассивного состояния поверхности чугуна, что позволяет защитной пленке более надежно защитить поверхность металла.

Исследования скорости коррозии подтвердили, что при содержании марганца 1,70 и 2,05 % наблюдается некоторое ускорение процессов коррозии в чугуне. Это может быть связано с содержанием и распределением графита, который является наименее коррозионностойкой составляющей сплава. Эти данные согласуются с приведенными в работе [2].

Выводы. Введение в чугун марганца в концентрации от 1,15...3,50 % оказывает влияние на его коррозионную стойкость. Установлено, что наибольшая

коррозионная стойкость в кислой среде была у чугунов с содержанием марганца 1,4 и 3,1 %.

Список литературы

1. *Матвеева М.О.* Исследования коррозионной стойкости чугунов экономолегированных титаном/ М.О. Матвеева, Е.Э. Чигиринец, А.А. Макарова// Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – №1(15). – С.203-207.
2. *Матвеева М.О.* Влияние легирования марганцем на образование высокоуглеродистой фазы в чугунах/ М.О. Матвеева, Ю.П. Синицина, А.А. Макарова, Б.В. Климович// Металознавство та термічна обробка металів. – Дн-ськ: ПДБА-БА, 2012. – №2. – С.44-48.

УДК 669.71.04

А. П. Мельников, М. А. Садоха

ОАО «БЕЛНИИЛИТ», Минск

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Процесс получения литой детали в общем случае может быть представлен, как ряд технологических переделов (металлургический, литейный, финишный), подразделяющихся на отдельные операции, выполнение каждой из которых связано с определенными затратами, прежде всего затратами энергии, материалов, труда и др.

Для оценки резервов повышения эффективности процесса получения литой детали подробнее рассмотрим все переделы и отдельные операции в их рамках с точки зрения энергопотребления, как наиболее затратной статьи при производстве отливок.

В металлургическом переделе на подготовку исходных материалов (шихты) для получения алюминиевых сплавов в среднем требуется от 50 до 200 кВт*ч на тонну шихты в зависимости от ее вида, состояния и требований плавильного агрегата. На плавку алюминия требуется от 750 до 1300 кВт*ч на тон-

ну сплава в зависимости от вида плавильного агрегата и технологии доведения сплава до заданных требований. Процесс получения чушки не столь энергое-
мо- на него расходуется до 250 кВт*ч на тонну сплава.

Литейный передел не менее энергоемкий - на тонну сплава расходуется: при плавке сплава - от 750 до 1300 кВт*ч, при металлургической обработке расплава – 100...150 кВт*ч, при литье – 200...250 кВт*ч

Финишный передел в общей сложности требует расхода от 150 до 300 кВт*ч на тонну отливок.

Анализ схемы технологии получения литой детали позволяет наметить ряд перспективных путей снижения энергозатрат при производстве отливок из алюминевых сплавов:

1. Использование при осуществлении плавки в ходе выполнения металлургического литейного переделов современных экономичных плавильных агрегатов и технологий плавки.

2. Объединение металлургического и литейного переделов, исключив этап получения чушкового сплава и последующую его плавку (проводить плавку в один этап).

3. Повышение физико-механических свойств сплавов путем выполнения металлургической обработки расплава и обеспечить таким образом возможность уменьшения толщины стенок и веса отливок.

4. Применение при литье технологий, позволяющих уменьшить литниковую систему и сократить брак отливок.

Выполнение первого условия возможно осуществить путем применения в качестве плавильного агрегата среднечастотных индукционных печей взамен печей промышленной частоты.

Второй путь, обеспечивающий экономию до 1300 кВт*ч на одной тонне жидкого металла, может быть реализован путем организации транспортировки расплава от производителя сплавов к производителю отливок.

Использование интенсивных технологических процессов металлургической обработки алюминиевого расплава позволяет обеспечить существенный рост качества сплавов. Одним из вариантов такой обработки является применение вращающегося импеллера для введения рабочего газа и флюсов в расплав.

Повышение выхода годного при литье и снижение брака отливок является весьма существенным фактором экономии, особенно при производстве от-

ливок из алюминиевых сплавов, когда масса литниково-питающих систем в некоторых случаях равна массе годной отливки. При производстве отливок методом литья в кокиль существенный эффект возможен при использовании метода самозаполнения [1-2], который позволяет значительно повысить выход годного литья (до 2-4 раз) при получении протяженных отливок по сравнению с литьём в стационарные кокиля.

Список литературы.

1. Садоха М.А., Бондарик Н.Е. Метод самозаполнения, как путь к повышению эффективности производства высококачественного литья из алюминиевых сплавов// Литье и металлургия. 2006. №2. Часть 1. С.145-147.
2. Садоха М.А., Мельников А.П., Краев Б.А. и др. Метод самозаполнения при производстве алюминиевых отливок// Литье и металлургия. 2004. №2. С.153-155.

УДК 669.131.622:669.74

Е. В. Меняйло

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ЧУГУННЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Образование тепловых узлов и усадочных дефектов в нижних шейках чугуных прокатных валков при литье в стационарные формы обусловлено ускоренным затвердеванием бочки валка по сравнению с нижней шейкой. Так, экспериментальные исследования показали, что при диаметре бочки 450 мм затвердевание чугуна с шаровидной формой графита заканчивается через ~70 минут, а нижней шейки диаметром ~327 мм, охлаждающейся в песчано-глинистой форме, позже, через 130 мин [1]. Поэтому для предотвращения образования усадочных дефектов в нижней шейке необходимо разработать новую конструкцию литейной формы, обеспечивающей ускоренное затвердевание нижней шейки валка по сравнению с бочкой. С этой целью использовали

математическую модель процесса затвердевания прокатных валков в комбинированных кокильно-песчаных формах [2].

Модель основана на сопряженном численном решении двумерного нестационарного уравнения теплопроводности в областях жидкого и затвердевающего металла, комбинированной литейной формы, состоящей из семи элементов с различными теплофизическими свойствами и источника тепла (Q) для обогрева верхней части прибыли. Процесс затвердевания описывается в рамках квазиравновесной теории двухфазной зоны. Скрытая теплота кристаллизации учитывается эффективным коэффициентом теплоемкости. Для повышения точности расчета интервал $T_{лик}—T_{сол}$ был разделен на три участка, в которых часть выделившейся твердой фазы устанавливали согласно результатам экспериментальных замеров затвердевания реальных отливок. Массоперенос, вызванный «дождем кристаллов» в нижнюю шейку, учитывали за счет уменьшения теплоты фазового перехода металла, заключенного в нижней шейке. Кроме того, введена поправка, учитывающая выделение теплоты фазового перехода при эвтектоидном превращении.

Моделировали влияние новых конструкций форм нижней шейки на затвердевание вала: 1) кокиля с песчано-глинистой теплоизоляцией толщиной 20 мм; 2) наружного стального холодильника толщиной 20 мм в опоке с песчаной смесью.

Анализ положения кривых изосолидус для прокатного вала из чугуна с шаровидной формой графита с нижней шейкой $\varnothing 330$ мм и кокилем $\varnothing 450$ мм показал, что для уменьшения размеров теплового узла приемлемы оба варианта. Кокиль с теплоизоляцией не исключает образования на 80 минуте замкнутого объема расплава, изолированного от прибыли, однако это происходит на последних этапах, когда основная часть отливки уже затвердела.

Второй вариант литья с холодильником, покрытым слоем краски толщиной 0,7 мм, привлекает не только возможностью получения нижней шейки практически без тепловых узлов и усадочных дефектов, но и низкой скоростью последующего охлаждения. Так, расчеты показали, что температура на поверхности отливки через 210 минут при литье в форму с наружным холодильником равна 859°C , а в осевой зоне она составляет 872°C . При литье в кокиль с теплоизоляцией толщиной 20 мм эти значения составляют 763°C и 804°C соответственно, что хуже по сравнению со вторым вариантом конструкции из-за увеличения перепада температур и, соответственно, термических напряжений.

Получение нижних шеек прокатного валка согласно разработанным технологиям обеспечивает снижение припусков на механическую обработку, трудоемкости формовочных работ, при этом твердость шеек увеличивается незначительно.

На затвердевание верхней шейки и прибыли изменение конструкции формы нижней шейки оказывает небольшое влияние. Однако, как отмечено выше, направленное затвердевание верхней шейки и прибыли обеспечивает комбинированный электродуговой-электрошлаковый обогрев зеркала металла прибыли нерасходуемыми графитированными электродами, который разработан в НМетАУ и используется на вальцелитейных заводах при производстве массивных валков [2].

Список литературы

1. *Хрычиков В.Е.* Термокинетические условия образования усадочных дефектов в чугуновых прокатных валках // Процессы литья. – №1. – 1996. – с.24-31.
2. *Лейбензон В.А., Пилюшенко В.Л., Кондратенко В.М. и др.* Затвердевание металлов и металлических композиций / Учебник для ВУЗов – К.: Наукова думка, 2009. – 410 с.
3. *Кривошеев А.Е.* Литые валки. / М.- Металлургиздат. – 1957. – 360 с.

УДК 621.

Милко Миланов

Институт литья и литейных технологий, София, Болгария

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА БОЛГАРИИ

До 1989 года отрасль машиностроения в Болгарии являлось приоритетным сектором. Машиностроение специализировалось в основном на производстве дизельных и электрических погрузчиков, электрических лебедок и других машиностроительных изделий. Хорошо были развиты производство металлообрабатывающего оборудования, сельскохозяйственной техники и машин, оборудования для пищевой промышленности, тяжелого машиностроения, погрузчиков и автомобильной промышленности. В это время в Болгарии производилось 450 тыс. тонн чугунового литья; 120 тыс. стального литья; 20 тыс. тонн литья из

цветных металлов. В стране насчитывалось около 220 литейных заводов. Согласно традиции, литейные заводы связаны главным образом с машиностроением.

Союз литейщиков Болгарии входил в состав союза машиностроителей. В состав союза машиностроителей входили основные производственные компании из всех подсекторов машиностроения.

В настоящее время в Болгарии насчитывается более 150 литейных заводов, но большинство из них являются небольшими с числом работающих не более 10 человек. Членами союза машиностроения, и соответственно союза литейщиков являются более 50 литейных заводов, которые выпускают более 95 % литья в стране. В период с 2001 по 2008 года литейное производство стабилизировалось, но в результате экономического кризиса, после 2009 года объем производства литья снова снизился и некоторые литейные заводы прекратили свою деятельность. В настоящее время Болгария производит около 50 тысяч тонн литья в год. Большая часть продукции экспортируется, главным образом в страны Европейского Союза.

В начале 2013 года в литейном производстве было занято около 5000 человек. К основным литейным заводам относятся "Радомир Метал Индъстрийз" АД - Радомир, выпускающий стальные отливки массой до 100 тонн; "Прогресс" АД - Стара Загора выпускающий гидравлическое плотное литье весом до 30 кг.; "ВМВ Металолеене" ООД - Ихтиман выпускающий средние и крупные отливки из серого чугуна; "Берг Монтана Фитинги" АД – Монтана, производящий фитинги; „Енергоремонт” АД - Кресна и „Метаком – СЛЗ” АД - Плевна - в основном выпускающие стальные отливки; "Осым" АД – Ловеч, для литья из высокопрочного чугуна; "Чугунолеене Инвест" АД – Первомай, выпускающий отливки для железнодорожного транспорта; „Алуком” АД - Плевна для алюминиевых отливок; "Леярмаш" АД – София, выпускающий отливки из серого чугуна и другие фирмы. Литейные заводы являются частными компаниями. Большинство предприятий находятся в руках болгарских бизнесменов, но есть и иностранные владельцы – из Польши, России и Украины. На веб-сайте болгарского отраслевого союза машиностроения, который включает и литейные заводы - www.bbctmb.dir.bg, можно получить более детальную в большем объеме информацию.

Союза литейщиков Болгарии состоит из трех человек – все они являются руководителями литейных компаний. Союз литейщиков, пользуясь поддержкой

отраслевого союза оказывает помощь компаниям, направленных на стабилизацию и развитие литейного производства Болгарии, в том числе:

- предоставление информации и оказание помощи компаниям в разработке проектов в области модернизирования технологий, внедрения международно признанных стандартов, регламентирующие энерго-эффективность предприятий, с долевым финансированием Европейскими компаниями;

- приведение деятельности предприятий в соответствии с экологическим законодательством страны, которое соответствует законодательству стран ЕС;

- проведение в среднем по два заседания в год руководителей литейных заводов и ведущих экспертов по вопросам, представляющим взаимный интерес;

- предоставление информации относительно запросов на производство литья поступивших из за рубежа.

- информация о новостях в области литейного производства и литейных технологий;

- организация посещений специализированных литейных выставок за рубежом;

- помощь предприятиям, связанной с решением очень трудной задачи литейных заводов - обеспечение и обучение инженеров и квалифицированных рабочих.

Союз литейщиков активно помогает компаниям в установлении прямых контактов с предприятиями и организациями за рубежом по вопросам, представляющим взаимный интерес.

УДК 621.724.4

И. А. Осипенко, А. П. Белый

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЫЛЕВИДНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО БОКСИТА В АЛЮМОФОСФАТНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЯХ

Разработаны и изучены формовочные смеси новых составов, включающих пыль с аспирационной установки дробления боксита и пыль мультициклона, кварцевый песок и фосфатное связующее, в основе твердения которого лежит химическое взаимодействие Al_2O_3 и H_3PO_4 . Важнейшими преимуще-

ствами новой смеси являются отсутствие токсичных выделений и высокая выбиваемость.

В настоящей работе исследованы основные технологические свойства дисперсных алюмосодержащих вторичных материалов и отходов металлургического производства, сделаны выводы о возможности их применения в составах фосфатных ХТС. Изучены свойства связок на основе пыли с аспирационной установки дробления боксита и пыли газоочистки с мультициклона.

Минералогический состав бокситов представлен в основном гидрооксидами и оксигидрооксидами алюминия.

Динамика изменения прочностных свойств твердеющей массы показала, что при длительной выдержке (24 ч и 72 ч) прочность увеличивается от 1,5 МПа до 3,5 МПа. Однако в промышленных условиях подобная длительность выдержки усложняет производственный цикл, поэтому для ускорения процесса и достижения необходимой прочности, целесообразно использовать поверхностную подсушку смеси, при этом температурный и временной интервал, определяется технологическим процессом изготовления формы. сделан вывод, что в состав масс, твердеющих на холоде, целесообразно вводить Al_2O_3 и Fe_2O_3 в активных формах, в виде гидрооксидов, так как они проявляют более высокие вяжущие свойства.

Химический состав пыли с мультициклона представлен в основном оксидами алюминия и железа.

Вяжущие свойства оксидов элементов слабее, чем их гидрооксидов и оксигидрооксидов. Этим объясняется разница в технологических свойствах разработанных составов фосфатных ХТС, созданных на основе этих пылевидных отходов.

Технологические свойства смесей с использованием пыли с мультициклона возрастают при увеличении количества пыли (от 10 до 50%), однако они на порядок ниже, чем технологические свойства смесей с использованием пыли с аспирационной установки дробления боксита. Подтверждена целесообразность продолжения исследований применения пыли с мультициклона в качестве связующего формовочных смесей. Разработанные ХТС с использованием пыли с аспирационной установки дробления боксита могут быть рекомендованы к широкому применению в производственных условиях.

Г. П. Охрименко, О. И. Пономаренко

ПАО «Сумское НПО им. М.В.Фрунзе», Сумы
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕКЛЬНОЙ САМОТВЕРДЕЮЩЕЙ СМЕСИ

За последние 10-15 лет, в условиях единичного и серийного производства, некоторые предприятия Украины и России принимают на вооружение технологии изготовления литья с применением смесей на органических смолах. Наряду с положительными факторами применения этих смесей имеются также и отрицательные, такие как загрязнение воздуха рабочей зоны и экологическая безопасность, что особенно значимо для предприятий расположенных в непосредственной близости к жилым массивам.

В тоже время, применение жидкостекльных смесей остается актуальным для многих производителей отливок, как более экологически безопасных. Недостатком жидкостекльных смесей является их плохая выбиваемость, в особенности при изготовлении стального литья. Основными способами улучшения выбиваемости жидкостекльных смесей является два направления: снижение содержания связующего и введение в состав смесей специальных добавок.

Кафедрой «Литейное производство» НТУ ХПИ, совместно с лабораторией управления главного металлурга ПАО «Сумское НПО им. М.В.Фрунзе», были проведены работы по усовершенствованию технологического процесса применения жидкостекльных смесей при изготовлении отливок. С этой целью проведены испытания жидкостекльной самотвердеющей смеси отверждаемой отвердителем эфирного типа (триацетин) с использованием жидкого стекла модифицированного водным раствором гексаметафосфата натрия (полифосфата натрия).

Применение такого способа приготовления формовочно-стержневой смеси позволяет получить необходимую технологическую прочность при снижении расхода связующего в 2 раза, против смесей отверждаемых углекислым газом. Применение модифицированного полифосфатом натрия жидкого стекла снижает остаточную прочность смеси в интервале воздействия температур 750-950 °С более чем в два раза в сравнении с жидкостекльными смесями без модификатора.

Улучшение характеристик газопроницаемости и влажности, за счет меньшего расхода связующего, высокой технологической прочности, значительным снижением остаточной прочности, в ряде случаев позволяет таким смесям конкурировать с органическими ХТС как в технологическом, так и в экономической отношении.

УДК 621.74.043.2+621.7.079

А. А. Пивоварчик, Я. С. Чайковский, О. А. Русин, А. М. Михальцов

Белорусский национальный технический университет, Минск

РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Особенностью процесса литья под давлением (ЛПД) является нанесение на рабочую поверхность пресс-формы разделительных покрытий (смазок).

Целью данной работы являлось изучение истории развития и использования разделительных покрытий при литье алюминиевых сплавов под высоким давлением.

Первоначально в качестве смазывающих материалов для ЛПД использовали натуральные природные компоненты, а именно, животные жиры и растительные масла. Нанесение данных материалов на поверхность литейной оснастки осуществляли с помощью «квача» или «щетки-сметки».

Удовлетворительную работу разделительных покрытий главным образом определяет ее основа. В качестве основы водоземulsionных разделительных покрытий могут выступать: растительные масла, животные жиры, продукты переработки нефти, кремнийорганические соединения, галогениды углерода и др.

В результате проведенного патентного поиска и анализ полученных данных об использовании разделительных покрытий в период с 1970 по 2012 гг.

получены следующие результаты [1, 2].

В период с 1970 г. по 1980 г. основную часть среди разделительных покрытий занимали жировые смазки до 70%, водоземulsionные до 30%

В 80-х годах основную долю выпускаемых покрытий для пресс-форм занимают водоземulsionные смазки до 62%, жировые до 38%

В 90-х годах водоземulsionные разделительные покрытия составляли почти 2/3 всех смазок для ЛПД (76%), постепенно вытесняя жировые смазки (16%). Также появляются новые разделительные – это сухие разделительные покрытия с порошкообразным наполнителем (8%). Однако данные разделительные покрытия не получили широкого распространения ввиду дорогостоящего и сложного оборудования, необходимого для их нанесения на рабочую поверхность технологической оснастки.

С 2000 года и до настоящего времени наиболее широкое распространение получили водоземulsionные разделительные покрытия. При этом на первое место выходят водоземulsionные покрытия: на основе кремнийорганических соединений (силиконы) (38%). Это объясняется высокими технологическими свойствами данных покрытий и их экологической безопасностью. Промежуточное место занимают водоземulsionные покрытия на основе нефтепродуктов (19 %), сухие с порошкообразным наполнителем (14 %) и растительных масел (9 %). Менее всего используются разделительные покрытия на основе животных жиров (1 %) и жировые (5 %). Первые вследствие сложности получения однородной эмульсии с высокой седиментационной устойчивостью, вторые по причине высокого брака связанного с качеством поверхности изготавливаемых отливок.

На основе проведенного патентного поиска и анализа полученной информации, очевидно, что универсальных смазок пока не существует. Использование тех или иных разделительных покрытий объясняется, прежде всего сложностью изготавливаемых отливок, технологическим оборудованием и возможностью механизированного нанесения смазок на пресс-форму, их стоимостью, технологичностью и экологичностью.

Однако с развитием науки и техники, появлением более технологичных и менее вредных материалов, использование в технологическом процессе ЛПД жировых смазок следует сокращать, вместо их целесообразно применять водоземulsionные разделительные покрытия на основе кремнийорганических соединений.

Список литературы

1. *Патенты России. Рос. агентство по пат. и товар. знакам (Роспатент). Полные тексты описаний изобретений к заявкам и патентам Российской Федерации. – М: Федер. ин-т пром. собственности (ФИПС), 1994–2004.*

2. Патенты России: описания изобретений (ретрофонд). Рос. агентство по пат. и товар. знакам (Роспатент). – М: Федер. ин-т пром. собственности (ФИПС), 1924 – 1993 (2004г.).

УДК 621.745.55

К. С. Радченко, О. В. Парфентьев, Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ХРОМОМАРГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ ЗА РАХУНОК МІКРОЛЕГУВАННЯ ТА
РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ**

Як зносостійкі матеріали, що працюють в умовах інтенсивного гідроабразивного зносу, часто використовують високохромисті чавуни, які містять у своєму складі дорогі та дефіцитні матеріали такі як: мідь, молібден, нікель та ін. Дані чавуни не мають відносно високих механічних властивостей, мають підвищену здатність до утворювання гарячих та холодних тріщини у виливках. Саме тому виникає цікавість щодо вивчення процесів легування, мікролегування, модифікування або технологічних процесів виготовлення виливків, термічного оброблення тощо з метою підвищення експлуатаційних характеристик сплавів.

Вивчено дію хрому на властивості хромомарганцевого чавуну в діапазоні його концентрацій від 4,5 до 30%.

Установлено, що суттєво покращуються експлуатаційні властивості при вмісті хрому 18...21%.

Досліджено вплив марганцю на твердість та зносостійкість хромистого чавуну.

Визначено, що кількість марганцю повинна знаходитись у кількості 4,5...5,0%.

Таким чином, для одержання білих чавунів з високою зносостійкістю, вони мають вмістити в своєму складі від 18 до 20% хрому.

Досліджено вплив титану на характеристики хромомарганцевого сплаву. Враховуючи значну спорідненість титану до кисню, його вводили в сплав після

розкислення рідкого металу алюмінієм. Підвищення концентрації титану до 0,1...0,5% сприяє покращанню механічних характеристик сплаву, подальше підвищення кількості титану знижує, як твердість так і зносостійкість. Хоча вони залишаються вищими за характеристики базового (290Х19Г4) чавуну.

Вивчено дію ванадію на структуру та властивості чавуну в діапазоні концентрацій до 1%. Зі збільшенням вмісту ванадію в чавуні до 0,8% підвищуються твердість, мікротвердість і зносостійкість сплаву.

Отже, для підвищення властивостей базового 290Х19Г4 чавуну, його доцільно додатково мікролегувати титаном або ванадієм у межах: 0,1...0,5% Ti, 0,5...0,8% V.

Для підвищення властивостей та покращання оброблюваності даного чавуну вивчено вплив режимів термічного оброблення, мікролегованих титаном і ванадієм. Досліджено наступні режими термічного оброблення: відпуск при температурі 300 °С; відпуск при температурі 680°С; відпал при температурі 770°С; відпал при температурі 860°С.

Низькотемпературний відпуск проведено з метою зниження енергоємності термічного оброблення деталей, які не піддають механічному обробленню, а дослідження високотемпературного відпалу ґрунтувались на високих показниках твердості, в'язкості і зносостійкості. Паралельно оцінювали структурний стан чавунів, як наслідок перетворень під час термічного оброблення.

Рекомендовано наступні режими термічного оброблення для виливків окремо мікролегованих титаном і ванадієм: відпуск при 680°С для литих деталей, які не піддають механічному обробленню, для зняття ливарних напружин і гомогенізації структури; для деталей, які піддають механічному обробленню, слід використовувати низькотемпературний відпал при 770°С для зменшення поверхневої твердості і покращення оброблюваності.

Таким чином розроблено хромомарганцевий чавун марки 290Х19Г4, який є більш дешевим ніж ті які використовувались раніше та має кращі експлуатаційні характеристики. Для підвищення експлуатаційних властивостей даний чавун рекомендовано додатково мікролегувати титаном або ванадієм.

УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКОГО ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА

В условиях интенсивного абразивного изнашивания применяют белые износостойкие высокохромистые чугуны (ВХЧ). Высокая стойкость этих чугунов обеспечивается структурой, состоящей из карбидов хрома типа $(Cr, Fe)_7C_3$, расположенных в аустенитной, мартенситной или мартенситно-аустенитной матрице.

Улучшить структуру износостойких хромистых чугунов можно дополнительным микролегированием и модифицированием. Повысить износостойкость относительно мягких участков аустенита (бывшего аустенита), и таким образом всего сплава, можно упрочнением его мелкодисперсными карбидами или карбонитридами таких элементов как титан, ванадий, ниобий. Из многих элементов, образующих высокотвердые карбиды, наиболее перспективным является титан.

РЗМ практически не используют при производстве износостойких ВХЧ, что связано, с одной стороны, при модифицировании высокохромистых чугунов редкоземельными металлами эффект влияния на их структуру и свойства не такой заметный, как для некоторых групп специальных сталей и высокопрочного чугуна. С другой стороны, данные по влиянию РЗМ на свойства ВХЧ ограничены и часто противоречивы. Неправильно выбранная технология модифицирования высокохромистых чугунов добавками РЗМ может привести к отсутствию эффекта улучшения структуры сплавов, или даже ухудшения некоторых свойств.

В качестве исходного чугуна использовали ВХЧ следующего химического состава, %: 2,8 С, 0,8 Si, 4,3 Mn, 20,5 Cr, $\leq 0,05$ S, $\leq 0,05$ P. Чугун выплавляли в индукционной печи ИСТ-006 с кислой футеровкой. Титан вводили в виде ферротитана ФТи35 в тигель печи в конце плавки, предварительно раскислив сплав 0,2 % алюминия. РЗМ в виде лигатуры Мц50ЖЗ с содержанием 45...50 % Ce, 20...30 % La, 10...15 % Nd вводили в тигель печи непосредственно перед выпуском металла.

Присадки в чугун титана совместно с РЗМ заметно измельчают структуру исходного ВХЧ. В центральной части образцов значительно уменьшается ширина и особенно длина дендритов первичного аустенита. Очевидно, церий и его соединения, образовавшиеся перед кристаллизацией сплава, откладываются как поверхностно-активные вещества на границе растущих дендритов аустенита, ограничивая их рост. Кроме этого, в сплаве, содержащем 0,1 % РЗМ эвтектика $\gamma + (\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ имеет более мелкодисперсное строение.

Титан образует карбиды и карбонитриды, которые расположены в основном в аустенитной матрице и на границах фаз матрица-карбид. В карбидах хрома их значительно меньше. Учитывая соответствие типов кристаллических решеток они могут выступать центрами кристаллизации аустенита, и, таким образом, инокулировать расплав.

В тоже время тугоплавкие частички TiC или Ti(C,N) , которые образовались до кристаллизации основной массы расплава, находясь на границе зерен, могут эффективно противостоять росту фаз, измельчать их и способствовать эффекту модифицирования чугуна.

РЗМ эффективно связывают серу и кислород в ВХЧ и находятся в составе сульфидов и оксисульфидов преимущественно сферической формы, других соединений РЗМ не выявлено. Оксисульфиды РЗМ равномерно распределены в структуре, их количество растет с увеличением общего содержания РЗМ в сплаве. Кроме того, встречаются включения, в которых сульфид РЗМ находится рядом с карбонитридом титана (сульфид находится внутри карбонитрида).

Модифицирование высокохромистого чугуна (хромомарганцевого) присадками титана и РЗМ существенно влияет на структуру сплава. При этом уменьшается ширина и длина первичных дендритов аустенита, измельчается эвтектика. Упрочнение аустенита мелкодисперсными твердыми карбидами и карбонитридами способствует повышению абразивной износостойкости металла отливки.

Для улучшения структуры, нейтрализации влияния вредных примесей, высокохромистые (хромомарганцевые) чугуны целесообразно во время выпуска из плавильного агрегата дополнительно обрабатывать присадками титана в количествах 0,15...0,2 % и РЗМ в количествах 0,15...0,25 % по расчету.

П. В. Русаков, О. И. Шинский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

АСУ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВКИ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЬЮТЕРА

В отделе ФХПФ ФТИМС НАН Украины проводятся работы по разработке гибких систем автоматического управления технологическим процессом формообразования в опоках контейнерного типа с применением газодинамических и вибрационных воздействий. Их основу составляют интеллектуально-алгоритмизированные устройства, выполненные на базе промышленного компьютера или сенсорной панели [1- 4]. Гибкие алгоритмы управления и дружелюбный понятый интерфейс позволяют в простой и наглядной форме отображать информацию о степени уплотнения формовочной массы в реальном времени, осуществлять оператору-формовщику возможность легкого управления технологическим циклом формовки.

Автоматическая система управления (АСУ) формообразования насыпных литейных форм позволяет: Уменьшить влияние человеческого фактора и повысить производительность производства. Обеспечить требуемое качество уплотнения формовочной при комплексном взаимодействии газодинамического разрежения и вибрации формы. Формировать обратную связь – возможность корректировки технологического процесса без остановки оборудования. Обеспечить регистрацию и архивирование хода и результатов процесса. Повысить надежность и рентабельность работы формовочного участка и уменьшить численность обслуживающего персонала.

Применение АСУ обеспечивает уменьшение энергопотребления за счет оптимизации режимов работы оборудования и ускорение оперативного анализа данных по количеству произведенных форм вывести затраты по моделям формовочным материалам. Достигается также повышение качества литейных форм.

Управление технологическим процессом осуществляется как в ручном, так и в автоматическом режиме. Автоматический режим работы осуществляется выбором контроллером режима адаптивного управления по выбранному алгоритму, который учитывает габариты формы и ее сложность.

Оператору достаточно задать габариты контейнера и номер учитывающий сложность формы, далее процесс осуществляется автоматически. АСУ ТП позволяет отображать все стадии процесса формовки. В случае возникновения аварийной ситуации или неисправности на формовочном модуле сенсорная панель мгновенно обеспечивает выдачу предупреждающего сообщения.

При разработке АСУ формовочного модуля особое внимание уделялось разработке таких алгоритмов управления, которые позволили бы обеспечить наилучшее качество продукции. Наряду с чисто алгоритмическими решениями при оценке физических характеристик формовочного песка активно используются различные приборы (устройства контроля угла естественного откоса, коэффициента внутреннего трения, влагомеры и т.п.), на основании показаний которых осуществляется автоматическая оперативная корректировка параметров вибрации и газодинамического разрежения. При необходимости оператор во время работы также может внести свои корректировки в технологический процесс формовки. Такие действия выполняются оператором в случае резкого изменения физических характеристик формовочного наполнителя, например, при его увлажнении или изменении температурного состояния. Все подобные действия оператора протоколируются на уровне АСУ формовочного модуля.

Список литературы

1. *Найдек В.Л., Шинский О.И., Русаков П.В.* Энергочастотное управление режимами вибрационной формовки // Процессы литья. 2009. – №4. – С. 69-76.
2. *Русаков П.В.* Способ виброформовки насыпных литейных форм с энергетическим отображением процесса дилатансии. Металл и литье Украины. – 2009. – №4-5. – С.12-17.
3. *Русаков П. В.* Особенности моделирования виброформовочных машин с переменной присоединяемой массой // Процессы литья. 2009. – №3. – С. 35-42.
4. *Русаков П.В.* Литейно-технологические системы с отображением образов энергосилового воздействия // Процессы литья. – 2009. – №6. – С. 37-45.

ПЯТЬ ШАГОВ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ

Известно, какую большую роль в себестоимости изготовления отливок играют затраты на плавку и разливку расплавов в литейные формы [1]. В основном они состоят из электрических затрат на индукционную плавку и потребления природного газа для подогрева ковшей. Индукционные тигельные печи (ИТП) широко применяются в промышленности для плавки черных и цветных металлов, как на воздухе, так и в вакууме и в защитных атмосферах. В настоящее время используются такие печи емкостью от десятков грамм до десятков тонн. Тигельные индукционные печи применяют главным образом для плавки высококачественных сталей и других специальных сплавов, требующих особой чистоты, однородности и точности химического состава, что недостижимо при плавке в пламенных и дуговых печах.

Сочетанием таких качеств (высокая стоимость электрооборудования и низкий КПД) определяется область применения индукционных тигельных печей: плавка легированных сталей и синтетического чугуна, цветных тяжелых и легких сплавов, редких и благородных металлов. Поскольку область применения этих печей ограничивается не техническими, а экономическими факторами, по мере увеличения производства электроэнергии она непрерывно расширяется, захватывая все более дешевые металлы и сплавы.

При оптимальной геометрии тигля и правильном выборе режимов ведения индукционной плавки можно выдерживать минимальный расход электроэнергии на плавку, а также, для данной конструкции печи минимизировать время плавки [2].

В этом и заключаются первых два шага по оптимизации технологического плавильного оборудования:

- рассчитать футеровку печи с оптимизацией геометрии внутреннего пространства для минимизации потерь тепловой энергии [2];
- оптимизировать алгоритм плавки в соответствии, с которым процесс плавки ведут с адаптацией оптимальных режимов для заданного количества шихты, и не допускается перерасход электрической энергии.

Третий шаг состоит в поиске экстремальной точки допустимого энергоотбора из печи при котором печь еще сохраняет работоспособность. При таком режиме автоматического регулирования отбор тепла охлаждающими контурами устанавливают по допустимому экстремальному минимуму, выше которого печь переходить в аварийную зону эксплуатационной нагрузки.

Выбор оптимальной технологии подогрева разливочных ковшей является четвертым шагом по нескольким весьма важным причинам:

- Первая из них это сравнительно низкий КПД открытых газовых горелок и большой расход газа: (0,5 – 1,5 м³ на одну тонну разливаемого ковшем расплава), при сравнительно высокой цене потребляемого природного газа. Сжигание газа вызывает внутри цеха дефицит кислорода и образование вредных для здоровья токсических газовых выбросов.

Таким образом, пятым шагом является применение на участке плавки разливочных ковшей обеспечивающих минимизацию потерь тепла при высокой стойкости футеровки. В сочетании с электрическим модулем для подогрева внутреннего пространства ковша, указанные технические решения могут составить альтернативную технологию подогрева разливочных ковшей.

Список литературы

1. *Русаков П.В.* Литейно-технологические системы с отображением образов энергосилового воздействия // Процессы литья. – 2009. – №6. С. 37-45.
2. *Найдек В. Л., Русаков П. В., Шинский О. И.* Индукционно-тигельные средне-частотные печи. Энергетическая стратегия конструктивно-технологической оптимизации// Процессы литья. 2007. – №6. С.24-28.

Е. Н. Сапегина, О. В. Акимов

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Современные программы компьютерного моделирования позволяют имитировать литейные процессы, которые происходят: при заполнении расплавом формы, кристаллизации отливки, образовании усадочных дефектов, а также рассчитывать напряжения в отливке.

Для решения задачи была выбрана программа LVM Flow, так как она наиболее удобна и проста для пользователя. Проектирование литейной технологии осуществляется с помощью программы ProEngineer, которая включает в себя построение трехмерных (3D) геометрических моделей детали, отливки с литниковой системой, а также литейной оснастки. В программе LVM Flow конечно-разностная модель быть построена по таким исходным данным: размер ячейки; количество ячеек; материал отливки; материал формы; температура заливаемого металла; способ заливки.

Программа позволяет промоделировать следующие процессы: заполнение формы металлом; расчет температурных полей; расчет поля жидкой фазы; расчет сегрегации; расчет дефектов; расчет напряжений и деформаций; каналы охлаждения; работа фильтров; учет многократного использования формы.

LVM Flow предлагает широкий набор инструментов для моделирования, исследования и создания оптимальной литейной технологии. Модульная структура LVM Flow позволяет быстро и удобно адаптировать и настроить систему к условиям любого производства.

В каждом отдельном модуле процессы тепломассопереноса описываются замкнутой динамической системой уравнений, основанных на законах сохранения энергии, импульса, массы, уравнений состояния многокомпонентных сплавов, которые решаются на прямоугольной сетке методом конечных разностей с автоматическим выбором шага интегрирования по времени.

Наличие системы LVM Flow позволяет значительно удешевить и ускорить работу по проектированию и разработке технологии производства отливок.

На основе компьютерного моделирования показано, что направленность кристаллизации играет важнейшую роль при получении качественной литой детали. По результатам математического моделирования были выявлены области предположительного образования дефектов и установлены параметры заливки, минимизирующие процент усадочных дефектов в теле отливки.

Список литературы

1. *В. В. Назаратин, А. П. Смирнов.* «Расчет параметров процесса направленного затвердевания стальных отливок» – Москва. – №1. – 2008. – с.7-12.
2. *Акимов О. В.* Применение методик конструкторско-технологического проектирования деталей ДВС в моделировании литейных процессов изготовления автомобильных поршней [Текст] / О. В. Акимов, В. И. Алехин, А. П. Марченко // Цветные металлы. – 2010. - № 8.
3. *Акимов О.В.* Компьютерное моделирование процессов при производстве литых деталей двигателя [Текст] / О. В. Акимов, В. И. Алехин, А. П. Марченко // Литейное производство. – 2010 – № 9. – С. 31-33.

УДК 621.742

Ю. А. Свинороев, Р. Бэр, Ю. И. Гутько

Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск
Магдебургский университет имени Отто – фон – Гюрике, Германия, Магдебург

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВОВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Установлено, что высокоэнергетическая механическая обработка литейных связующих на дезинтеграторных установках может быть эффективным инструментом управления их свойствами [1]. Она состоит в направленном высокоэнергетическом механическом воздействии (механоактивации) на жидкие системы в определенном диапазоне энергий. Применяется для изменения показателей качества этих систем: повышения реакционной способности, изменения кислотности, модифицирования структуры и др. Наиболее эффективна обработка литейных связующих представляющих собой коллоидные системы с большим разбросом диапазона молекулярных масс [2].

Цель исследования состояла в поиске возможностей применения методов механоактивации ЛСТ для оптимизации состава формовочной смеси, за счет снижения содержания «чистого» песка, и увеличения применения регенерированного. Изучалась возможность уменьшения использования формовочной глины и уменьшения цикла сушки.

Установлено, что методы механоактивации ЛСТ целесообразно применять для улучшения показателей качества литейных смесей. Такая обработка приводит к увеличению связующей способности ЛСТ с 0,4 до 0,9 МПа, что открывает возможность использовать этот эффект для оптимизации составов формовочных смесей, как для производства чугуна так и для производства стального литья. Разработаны экспериментальные составы облицовочных формовочных смесей для формовки по сухому (табл. 1). ЛСТ обрабатывались в рекомендованных режимах высокоэнергетических воздействий на дезинтеграторной установке УДА 100 [1]. Такие формовочные смеси применяют как для производства литья из серого чугуна, так и для изготовления стальных отливок из углеродистой стали.

Установлена возможность уменьшения длительности отверждения, для сушки полуформ на 26%. На базовом (применяющегося в производстве) составе смеси, он составляет 4 часа при температуре 200 - 220 °С .

Таблица 1.- Сравнительная оценка облицовочных формовочных смесей для формовки по сухому на основе ЛСТ обработанных методами механоактивации

Компоненты состава, характеристики качества	Составы и показатели качества			
	Экспериментальные составы формовочных смесей			Базовый состав формовочной смеси, соответствующие показатели качества
	1	2	3	
<i>Кварцевый песок марки 1К02Б, Верхнеднепровский, %</i>	30	35	40	42
<i>Горелая земля после регенерации, %</i>	53	48	43	38
Формовочная глина, %	3	3	3	6 – 8
ЛСТ, %	4	4	4	4 – 8
Древесные опилки, %	10	10	10	10
<i>Характеристики</i>	<i>Показатели качества</i>			
<i>Влажность, %</i>	6,9	6,8	6,9	6,0 – 7,0
<i>Газопроницаемость, ед.</i>				
<i>Прочность в сыром состоянии кгс/см²</i>	0,25	0,27	0,31	0,27 – 0,33
<i>Прочность в сухом состоянии, МПа</i>	0,42	0,44	0,48	0,33 – 0,45
<i>Продолжительность сушки, мин (при температуре 200°С)</i>	30	30	30	45

Выводы. Установили, что применение методов механоактивации ЛСТ приводит к оптимизации состава формовочной смеси: возможно снижение объёмов применения «чистого» формовочного песка за счет увеличения доли регенерируемого, и сокращение использования формовочной глины в два раза. При этом продолжительность сушки может быть сокращена на 20 – 25%, однако для более точных суждений по этому поводу необходимы дополнительные промышленные испытания.

Список литературы

1. Свинороев Ю. А. Применение высокоэнергетической механической обработки технических лигносульфонатов для повышения показателей их качества / Свинороев Ю. А., Гутько Ю. И. // Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология: международная научно-практическая конференция выставка, 19-21.11.12: материалы. – К.: ФТИМС НАН Украины. 2012. – С. 245-246.
2. УДА-технология, проблемы и перспективы. / 1981 г. И. А. Хинт: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tpribor.ru/hint4.html>

УДК 621.746.6

В. Ю. Селиверстов, Ю. В. Доценко, К. А. Думенко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепрпетровск

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА НАРУЖНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА НА ГЕРМЕТИЗАЦИЮ В КОКИЛЕ ОТЛИВКИ ИЗ СТАЛИ С ШИРОКИМ ИНТЕРВАЛОМ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

Способ литья с применением газодинамического воздействия на затвердевающий в литейной форме расплав позволяет создавать нарастающее давление в герметизированной системе отливка-устройство для ввода газа вплоть до полного затвердевания отливки [1, 2]. При этом одним из основных конструктивных компонентов устройства для ввода газа является наружный герметизирующий холодильник, форма, размеры, материал и масса которого оказывают влияние на продолжительность и эффективность технологического процесса газодинамического воздействия [3].

Для определения термовременных параметров процесса герметизации системы отливка-устройство для ввода газа и степени влияния наружного холодильника на этот процесс, было проведено компьютерное моделирование герметизации отливки из стали Х12Ф1Л (табл. 1) с использованием системы компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон».

Литейная форма - стальной вытряхной кокиль со средней толщиной стенки 100 мм, высотой рабочей полости 550 мм и средним диаметром 240 мм. Начальная температура формы - 400°С. Высота отливки – 350 мм.

Материал холодильника – сталь Х12Ф1Л. Диаметр холодильника принимался равным 100 мм, 150 мм и 200 мм. Каждому из диаметров соответствовали толщины: 10 мм, 20 мм и 30 мм. Начальная температура холодильника – 350°С. На рисунке 1 представлена схема конструкции холодильников и расположения виртуальных термодатчиков (№№ 1 - 3). Особенностью конструкции холодильников является наличие (отсутствие) вставки из теплоизоляционного материала. Поэтому в одном из вариантов (рис. 1, а) холодильник полностью металлический на газоподающем патрубке, а в другом (рис. 1, б) – холодильник представляет из себя металлический корпус (обычно, из того же материала, что и отливка), в котором находится вставка из теплоизоляционного материала (на рисунке не показана). Для конструкции со вставкой из теплоизоляционного материала толщина холодильника принималась равной 30 мм с толщиной теплоизоляционного материала 10 мм и 25 мм для каждого из выбранных диаметров.

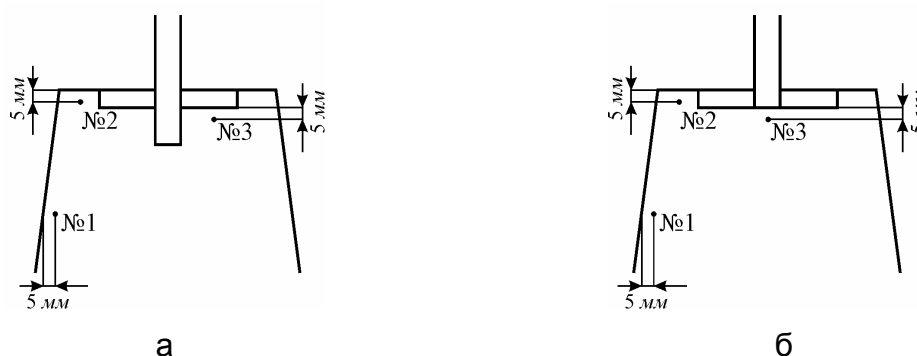


Рис.1. Схема цельнометаллического холодильника на газоподающем патрубке (а) и корпусного холодильника с утеплительной вставкой (б), а также расположение виртуальных термодатчиков (№№ 1 - 3).

Расчеты показали, что при использовании цельнометаллического холодильника всех рассматриваемых диаметров продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником находится в диапазоне 310 - 340 с, т.е. влияние диаметра холодильника минимально. Результаты моделирования показали

также, что для данного вида сплава и литейной формы лимитирующей стадией процесса герметизации системы отливка-устройство для ввода газа будет формирование затвердевшего слоя металла на боковой и верхней поверхностях отливки. При этом толщина цельнометаллического холодильника будет играть второстепенную роль по сравнению с его диаметром. Кроме того, в данном случае, предпочтительно использование конструкции холодильника, предусматривающей наличие слоя утеплителя, что позволяет также снизить металлоемкость устройства для ввода газа.

Список литературы

1. Пат. 28858 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708968; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
2. Пат. 28859 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708969; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
3. *Селиверстов В.Ю.* Влияние наружного холодильника на процесс герметизации отливки из стали с широким температурным интервалом затвердевания в кокиле [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Теория и практика металлургии. – 2008. – № 3. – С. 32-37.

УДК 621.74:669.715:620.171.3

А. И. Семенченко, И. В. Хвостенко, В. М. Дука, А. Г. Вернидуб

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ НА СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК7Ч

Для алюминиевых сплавов, как правило, температура заливки расплава в рабочую полость литейной формы превышает температуру начала затвердевания металла на 100-150 °С.

В данном исследовании были приняты такие экспериментальные условия, которые обеспечивали бы при снижении температуры заливки вплоть до жидко-

твёрдого состояния качественное формообразование опытных отливок без применения принудительного заполнения расплавом рабочей полости литейной формы и позволили бы устранить побочные наряду с морфологией кристаллической структуры α -фазы эффекты воздействия других переменных факторов на формирование свойств литого металла.

Изготовить качественные литые разрывные образцы из алюминиевых сплавов при температурах заливки с перегревом расплава над температурой ликвидус ниже 5-10 °C методом свободной ручной заливки практически невозможно. Поэтому в данном исследовании изготавливали опытные отливки типа «пластина», из нижней части которой вытачивали стандартные разрывные образцы с диаметром рабочей части, равным 8 мм.

Жидкий металл для проведения экспериментальных исследований готовили расплавлением и перегревом до 750 ± 5 °C ранее приготовленных чушек базового сплава АК7ч в лабораторной плавильной печи сопротивления.

После доводки температуры расплава до рабочего значения разливочным ковшом, с вмонтированной в нем термопарой, производили отбор порции жидкого металла из тигля и после достижения требуемой температуры расплава в ковше производили ручную заливку его в полость встряхного кокиля.

Как уже отмечалось, в данном исследовании формообразование опытных отливок производилось методом свободной ручной заливки. Поэтому единственным переменным параметром являлась только величина температуры заливки расплава в рабочую полость литейной формы.

Снижение температуры заливки расплава в полость формы уменьшает теплосодержание залитой порции металла. Так, например, при снижении температуры заливки сплава АК9 в металлическую форму от 720 до 680, 640 и 600 °C продолжительность затвердевания отливки толщиной 30 мм уменьшается примерно на 15, 35 и 50% соответственно.

Повышение скорости охлаждения отливок в этом случае обеспечивает измельчение кристаллической структуры литого металла соответствующим повышением его физико-механических характеристик. В тоже время снижение температуры заливки расплава уменьшает интенсивность фильтрационного питания отливок и степень направленности их затвердевания.

Результат взаимодействия этих противоборствующих тенденций является причиной неоднозначных выводов из анализа литературных данных о влиянии температуры заливки на свойства металла отливок.

Согласно данным настоящего экспериментального исследования в интервале температур заливки от 750 до 650 °С в процессе затвердевания опытных отливок формируется дендритная морфология кристаллической структуры α -твердого раствора алюминия. В этих условиях превалирует тенденция повышения междендритной пористости по мере снижения температуры заливки. В результате снижается прочность на разрыв (от 185 до 175 МПа) и особенно величина относительного удлинения сплава в литом состоянии (примерно в 2,4 раза, с 6 % до 2,5 %).

При температуре заливки расплава 630 °С в кристаллической структуре опытных отливок преобладает розеточная морфология кристаллов первичной фазы с частичным присутствием дендритных форм. А уже при температуре заливки 620 °С розеточная морфология кристаллов α -твердого раствора алюминия становится основной в структуре металла опытных отливок. В результате улучшения в этом случае условий фильтрационного питания затвердевающих отливок повышаются как прочностные (до 180 МПа), так и примерно вдвое пластические характеристики литого металла.

Дополнительное приложение сдвиговых нагрузок при гидроциркуляционной обработке жидкого металла в предкристаллизационной температурной области обеспечивает дальнейшее повышение показателей прочности (до 200 МПа) и особенно пластичности сплава АК7ч в литом состоянии (до 6,5%).

УДК 621. 745.56:538.65:536.421.4

В. А. Середенко, Е. В. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЛИТАЯ СТРУКТУРА СПЛАВА Al-Cu-Fe-Si СФОРМИРОВАННАЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для повышения свойств сплавов используются различные внешние воздействия, в том числе постоянное магнитное поле. В настоящее время исследования по изучению влияния постоянного магнитного поля на сплавы системы Al-Cu ведутся в основном с использованием чистых компонентов, а сведений по влиянию примесей Fe и Si на структуру сплавов недостаточно.

В работе изучалось влияние слабого постоянного магнитного поля с индукцией (B) 0,1 Тл на фазы сплава Al с 3,5 % Cu и примесями Fe и Si в количестве характерном промышленных сплавов ($\sim 0,2$ %), охлаждённом и затвердевшем со скоростью ~ 1 °C/с, что соответствовало обычным способам литья. В контрольных экспериментах B была равна 0 Тл.

В литой структуре сплава, полученного при $B = 0$ Тл зёрна α – твёрдого раствора алюминия (средний размер ~ 68 мкм) были окружены межзёренными пространствами, заполненными компактной фазой CuAl_2 с неровностями на поверхности и отдельными несплошностями. Расстояние между границами двух зёрен составляло в среднем 3 мкм, а в стыках нескольких ~ 17 мкм. В межзёренных пространствах находились игольчатые включения фаз FeAl_3 , $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ и AlCuFeSi , направленные в объём зерна. Их длина в границах между двумя зёрнами и стыках нескольких зёрен достигала соответственно для FeAl_3 7 и 28 мкм, $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ до 7 и 40 мкм, AlCuFeSi до 9 и 14 мкм. В структуре сплава наблюдался один участок $\alpha(\text{AlFeSi})$ -фазы в виде оболочки и занимавшей менее 1 % площади исследованной поверхности шлифов сплава.

По результатам микрорентгеноспектрального анализа сплава определено, что под воздействием поля произошло перераспределение компонентов между зёрнами и межзёренными пространствами. Содержание Cu в стыках зёрен при $B = 0,1$ Тл уменьшалось в 1,3 раза по сравнению с $B = 0$ Тл, а в границах между двумя зёрнами практически не изменялось. Количество Fe в межзёренных пространствах сократилось в 2 раза, а Si возросло в $\sim 4,7$ раза под воздействием магнитного поля. В результате изменения концентрации компонентов, в сплаве при $B = 0,1$ Тл в пространстве между двумя зёрнами не обнаружено включений FeAl_3 и AlCuFeSi , а в стыках – AlCuFeSi . Границы зёрен расширились – средние размеры между двумя зёрнами составили 6 мкм и стыков 22 мкм. В фазе CuAl_2 увеличилось количество неровностей и разрывов. Вероятно, это связано с образованием $\beta(\text{AlFeSi})$ -фазы, которая имела компактную форму, в результате влияния на неё магнитного поля, и примыкала к с фазе CuAl_2 . Так же в сплаве возросло количество $\alpha(\text{AlFeSi})$ -фазы – до ~ 20 %. Известно, что фазы $\beta(\text{AlFeSi})$ и $\alpha(\text{AlFeSi})$ содержат меньше Fe, чем FeAl_3 и намного больше Si по сравнению с тем его количеством, которое может растворяться в соединении FeAl_3 . Фаза $\beta(\text{AlFeSi})$ содержит меньше Fe и больше Si, чем то количество, которое может входить в состав соединения AlCuFeSi . Средний размер зерна в сплаве под влиянием поля существенно не изменился (~ 63 мкм). Не изменилась и длина

включений $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ в границах между двумя зёрнами, а в стыках зёрен их максимальные размеры сократились вдвое. Длина наибольших включений FeAl_3 в стыках зёрен уменьшилась втрое.

Таким образом, под действием слабого магнитного поля с $B = 0,1$ Тл в структуре сплава Al-Cu-Fe-Si уменьшается количество игольчатых включений на $\sim 50\%$ и сокращается их размер в 2 – 3 раза. В результате уменьшения количества Fe и увеличения Si в межзёренных пространствах под влиянием магнитного поля и его модифицирующего действия на форму $\beta(\text{AlFeSi})$ -фазы вместо игольчатых включений образуются компактные.

УДК 669.131.5:537.84

В. А. Середенко, С. Г. Голубчик

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СИСТЕМА НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ

Одним из перспективных методов повышения качества отливок является обработка расплавов электрическим током в разливочном ковше. Эффективность такой обработки во многом зависит от безопасности и экономичности электротехнического оборудования. Наиболее безопасно для персонала использование низковольтного электрооборудования в зоне обработки расплава. Для обработки небольших масс (до 50 кг) чугуна и стали в литейных цехах используется наряду с высоковольтным (>100 В) и низковольтное (до 40 В) оборудование. В нем сетевое напряжение (220 или 380 В с частотой 50 Гц) преобразуется в низковольтное с постоянным либо пульсирующим током небольшой (до 25А) силы [1]. При этом для ввода электротока в железоуглеродистый расплав используются металлические электроды. Обработка больших масс расплавов черных металлов проводится электротоком силой свыше 100 А при напряжениях более 100 В [2]. Размеры ковшей большой емкости намного превосходят ковши малой емкости и для сохранения оптимальных значений плотности электротока в расплаве, а также с учетом значительно выраженного падения величины плотности электротока при его растекании в больших объемах металла, используют электроток с высокой силой (до нескольких тысяч ампер) и электроды значительных диаметров (до 200 мм). Для низковольтной электрото-

ковой обработки, прежде всего расплавов черных металлов, как в ковшах малой, так и большой емкости разработана система, работающая на промышленной частоте от сети 220/380 В. Она базируется на понижающем однофазном трансформаторе типа ТПО со ступенчатым регулированием вторичного напряжения, питающем индуктор соленоидального типа с охватывающий его снаружи нагрузкой в виде короткозамкнутого витка при использовании замкнутого магнитопровода. Система предусматривает монтаж пары электродов, вводимых в обрабатываемый расплав, как в сеть питающую индуктор, так и в его нагрузку (виток). В первом случае, реализуется с помощью индуктора либо балластного сопротивления пропускание по расплаву электротока силой 50-350 А при ступенчатом регулировании напряжения в диапазоне 25-40 В. Электротоки силой до 3000 А обеспечиваются вторым режимом использования разработанной системы при замыкании цепи витка индуктора через электроды, погруженные в расплав. Напряжение на электродах при этом не превышает 3 В. Электрический к.п.д. системы составляет 0,98, максимальная мощность 10 кВт, потери холостого хода от номинальной мощности < 5%. Для снижения индуктивного сопротивления системы высота витка в окне индуктора близка к высоте его обмотки и расположена вокруг нее с минимальным воздушным зазором (~5 мм). Для снижения тепловыделений в витке в зоне обмотки он выполнен из диамагнитного металла с малым удельным электросопротивлением, а площадь его поперечного сечения выбрана из условия обеспечения высокого значения коэффициента мощности ($\cos = 0,7$). Необходимая для этого величина активного сопротивления вторичной цепи индуктора достигнута за счет сечения и удельной электропроводимости приэлектродных участков цепи, сечения и материала электродов. Высокие электрические характеристики низковольтной части системы обеспечены минимизацией потерь энергии за счет применения замкнутого магнитопровода индуктора, малых сопротивлений цепи и их рационального сочетания, концентрацией энергии в межэлектродном пространстве.

Список литературы

1. Миненко Г.Н., Подъячев А.П. Механические свойства литой стали при обработке расплава электрическим пульсирующим током // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1981. – С. 156-157.

2. *Chernega D.* Treatment of Metals and Alloys under Solidification by the Direct Current // Proc. 15th Riga and 6th PAMIR Conference of Fundamental and Applied MHD. Latvia – 2005. Vol. 2. – P53-56.

УДК 621.745.56:538.65:536.421.4

В. А. Середенко, А. В. Косинская, А. С. Затуловский, Е. В. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА АЛЮМОМАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ В ОБЛАСТИ ПЕРИТЕКТИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ПРИ ИХ НЕРАВНОВЕСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Сплавы системы Al-Mn широко применяются в различных отраслях промышленности (строительство, транспорт, авиация). В частности, для увеличения коррозионной стойкости стали её альтируют сплавами Al-Mn с содержанием Mn 9 и 13% [1].

В работе проведено установление особенностей влияния постоянного магнитного поля на сплавы Al-Mn составов перитектического превращения диаграммы состояния с содержанием 7,7-9,0 мас.%. Mn. Сплавлением алюминия технической частоты (А6) и электролитического марганца (99,95 мас.% Mn) были получены образцы, затвердевающие в неравновесных условиях кристаллизации при литье в графитовую форму с температурой заливки 1000-1050°C и 820-850°C.

В структуре сплава, затвердевавшего с более высокотемпературной области заливки, наблюдались три фазы: α -раствор алюминия, крупные размером от 300-500 мкм до 1000 мкм сечением 20-30 мкм шестоватые и изометричные кристаллы γ -фазы (Al_4Mn). Они имели высокую (254-315 кг/мм²) микротвердость и местами были окаймлены мелкозернистыми (1-5 мкм) образованиями β -фазы (Al_6Mn). Наличие в сплаве γ -фазы является следствием не до конца прошедшей перитектической реакции, которая протекает очень медленно и в обычных условиях кристаллизации не успевает завершиться.

Сплав, кристаллизовавшийся в идентичных с предыдущим условиях охлаждения, но залитый в форму при температуре расплава 820-850°C, имел рав-

новесный фазовый состав: α -раствор алюминия и выделения β -фазы (Al_6Mn) в виде крупных длиной от 100-300 мкм до 1000-1500 мкм и сечением от 10 до 50 мкм шестоватых кристаллов с микротвердостью 82 кг/мм². Они были ориентированы в различных направлениях и образовали «сетчатую» структуру материала.

Влияние постоянного магнитного поля на кристаллизующийся в неравновесных условиях охлаждения определялось на расплаве, имевшего температуру заливки 820-850 °С. Для этого одну из графитовых форм устанавливали в поле постоянного магнита индукцией 0,25 Тл. Вторую, идентичной конфигурации и размеров – вне действия магнитного поля. Оба образца остывали на воздухе.

Проведенные исследования показали, что магнитное поле не оказывая влияние на фазовый состав, воздействует на структуру формирующегося сплава. Образец приобретает более равномерное строение. На фоне α -твердого раствора алюминия выделяются мелкокристаллические (5-10 мкм) образования интерметаллидов и шестоватые кристаллы β -фазы (Al_6Mn) в виде параллельно направленных «пучков». Они имеют длину от 100 до 1000 мкм, сечение 10-30 мкм и более высокую (по сравнению с образцом, кристаллизовавшимся вне действия магнитного поля) микротвердость 95,6 кг/мм². Количество их меньше и наблюдаются эти «пучки» в отдельных местах просматриваемой поверхности шлифа.

Таким образом, постоянное магнитное поле, накладываемое на кристаллизующийся расплав, влияет на структуру формирующегося сплава. Оно усиливает диффузию легирующего компонента, способствует измельчению интерметаллидной фазы, изменяет количество и расположение включений β -фазы.

Список литературы

1. Li X, Liu B, Dong X. *et al.* Preparation of Al-Mn alloy coating on low carbon steel by hot dip-aluminizing // Applied Mechanics and Materials. – V.117-119. – 2012. – P.1122-1124.

В. А. Середенко, Е. В. Середенко, А. А. Паренюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**СТРУКТУРА АЛЮМИНИЕВОМЕДНОГО СПЛАВА С ДОБАВКАМИ Mn и Ti,
ЗАКРИСТАЛЛИЗОВАННОГО В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИ
РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ**

Свойства сплавов системы Al-Cu, упрочняемых термообработкой (АЛ 19, ВАЛ 10 и т. п.), а также длительность и сложность этого процесса определяются дисперсностью и однородностью литой структуры сплава. Измельчение структуры достигается, в частности, повышением скорости охлаждения и применением внешних воздействий, в том числе, постоянного магнитного поля. Действие магнитного поля на сплав Al с Cu в условиях, характерных для обычных способов литья, исследовано недостаточно.

Изучалось влияние постоянного магнитного поля с индукцией (B) 0,1 Тл на литую структуру сплава типа ВАЛ 10 (5,0 % Cu, 0,35 % Mn, 0,02 % Ti, примеси Fe и Si \sim 0,1 %), охлаждённого и затвердевшего со скоростями (u) \sim 10, 25 и 50 °C/с. Контрольные эксперименты проводились без воздействия поля. В литой структуре сплава, полученного при $B = 0$ Тл наблюдались зёрна α – твёрдого раствора алюминия, включения фаз CuAl_2 , $\text{Al}_{12}\text{Mn}_2\text{Cu}$, Al_3Ti и FeAl_3 в межзёренном пространстве. Обнаружено, что под воздействием магнитного поля вместо игольчатой фазы FeAl_3 образовались компактные и разветвлённые включения $\alpha(\text{AlSiFe})$ -фазы.

В таблице показано действие скорости охлаждения и магнитного поля на средние размеры зёрен (d) и ширины межзёренных пространств (b). Из таблицы следует, что с ростом скорости охлаждения сплава как при $B = 0$ Тл, так и при $B = 0,1$ Тл размеры его структурных составляющих уменьшаются. Увеличение скорости охлаждения повысило эффективность действия магнитного поля. Величина d при $u = 50$ °C/с и $B = 0$ Тл была аналогична этой характеристике под воздействием поля на сплав, но при вдвое меньшей скорости его охлаждения. Наложение магнитного поля привело к увеличению колебаний d , по сравнению с контрольным сплавом, но сохранилась тенденция к их уменьшению с ростом скорости охлаждения. Ширина межзёренных пространств в сплаве, обработанном магнитным полем при $u \sim 10$ °C/с была на уровне этой характеристики в металле,

Параметры литой структуры сплава

u, °C/c	d, мкм	b, мкм
	B = 0,0 Тл	
10	46,70 ± 3,77	6,39 ± 1,53
25	35,40 ± 3,48	5,33 ± 0,76
50	27,75 ± 2,76	4,73 ± 1,99
B = 0,1 Тл		
10	48,17 ± 5,61	5,09 ± 0,26
25	27,63 ± 4,13	3, 19 ± 0,45
50	20,91 ± 2,46	3,40 ± 0,71

полученном без воздействия поля при значительно более высокой скорости охлаждения – 25 °C/c. Применение слабого магнитного поля при u ~ 25 °C/c позволило сократить величину b в большей степени, чем скорость охлаждения 50 °C/c контрольного сплава. Колебания значений b под воздействием магнитного поля значительно сократились: при u ~ 10 °C/c в 5,9 раза, u ~ 25 °C/c в 1,7 раза и при u ~ 50 °C/c в 2,8 раза.

Таким образом, слабое магнитное поле способствует формированию компактных и разветвлённых включений железосодержащей фазы - $\alpha(\text{AlSiFe})$ вместо игольчатых выделений соединения FeAl_3 . Так же под воздействием постоянного магнитного поля уменьшается ширина межзёренных пространств в материале. Это, вероятно, связано с перераспределением компонентов сплава между зёрнами и их границами. Магнитное поле усиливает тенденцию уменьшения размеров зёрен сплава с ростом его скорости охлаждения. Данное проявление действия наиболее эффективно при скорости охлаждения сплава ~ 25 °C/c и аналогично охлаждению сплава без наложения поля со скоростью ~ 50 °C/c. Величина ширины границ между зёрнами сплава при скорости охлаждения ~ 10 °C/c под воздействием постоянного магнитного поля достигает уровня её значения в сплаве не обработанном полем при охлаждении со скоростью ~ 25 °C/c. Обработка сплава магнитным полем способствует увеличению однородности распределения фаз по границам зёрен, что проявляется в уменьшении колебаний значений ширины межзёренных пространств.

**Н. В. Слетова, С. П. Задрецкий, В. А. Розум, Б. М. Немененок,
А. С. Панасюгин, Г. В. Довнар**

Белорусский национальный технический университет, Минск

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ СИЛУМИНОВ КАРБОНАТОМ СТРОНЦИЯ

С точки зрения разработки экологически безвредной модифицирующей присадки для изменения морфологии эвтектического кремния в силуминах, обладающей длительным модифицирующим эффектом и относительно невысокой стоимостью, представляет интерес изучение модифицирующего действия карбоната стронция. Было проведено термодинамическое моделирование вероятных химических и фазовых превращений в системе $\text{SrCO}_3\text{-Al-Si}$ на основе минимизации изобарно-изотермического потенциала и максимизации энтропии системы при учете всех потенциально возможных в равновесии индивидуальных веществ при различных температурах и давлениях с использованием программного комплекса HSC CHEMISTRY. Рассматривались результирующие реакции перехода стронция из его карбоната в расплав силумина: $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$ и $\text{SrCO}_3 + \text{Si} = \text{Sr} + \text{SiO}_2 + \text{CO}$.

Исследуемые температурный диапазон и область давлений, выбирались исходя из реальных производственных условий. Так, температура модифицирующей обработки расплавов на основе алюминия, как правило, находится в пределах 943...1173 К, причем нижняя граница лимитирована началом образования твердой фазы и снижением скорости протекания конвекционных процессов в расплаве, а верхняя- увеличением энергоемкости плавки, повышением газонасыщения, интенсификацией окисления компонентов расплава и модифицирующих элементов при перегреве. Область исследуемого диапазона давлений находится в пределах 101,33...125,45 кПа. Нижнее значение соответствует давлению на зеркале расплава, а верхнее регламентируется глубиной погружения колокольчика с рафинирующим реагентом (в данном случае- с карбонатом стронция) в расплав, которая, как правило, не превышает 1,0 м, и рассчитано для нижней границы температурного интервала (943 К), которой соответствует наиболее высокое значение плотности расплава силумина эвтектического состава (2462 кг/м^3) в исследуемом диапазоне температур.

Проведенный полный термодинамический анализ в исследованном диапазоне температур и давлений однозначно свидетельствует о протекании реакции $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$ в сторону восстановления стронция, причем с повышением температуры и снижением давления изучаемая реакция становится термодинамически более выгодной, так как сопровождается уменьшением ΔG .

Так, при температуре 943 К для давлений 103,33 кПа (на поверхности расплава) и 125,45 кПа (глубина погружения колокольчика 1,0 м), изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции взаимодействия карбоната кальция с алюминием составит соответственно -22,91 кДж/моль и -19,52 кДж/моль, для температуры 1173 К соответствующие показатели будут -87,83 кДж/моль и -83,75 кДж/моль.

Необходимо отметить, что реакция взаимодействия карбоната стронция с кремнием в жидком силумине $\text{SrCO}_3 + \text{Si} \rightarrow \text{Sr} + \text{SiO}_2 + \text{CO}$ в диапазоне температур 943...1163 К при давлениях, соответствующих глубине погружения SrCO_3 в расплав от 0 м до 1,0 м сопровождается увеличением изменения Энергии Гиббса, что говорит о нецелесообразности рассматривания Si в качестве восстановителя стронция из его карбоната для модифицирования в производственных условиях эвтектического кремния.

Анализ зависимости мольных концентраций фаз SrCO_3 , Al_2O_3 , CO, CO_2 от температуры при различных давлениях в системе $\text{SrCO}_3\text{-Al-Sr-Al}_2\text{O}_3\text{-CO-CO}_2$ позволяет сделать вывод о незначительном влиянии температуры и давления в исследуемом диапазоне на скорость протекания реакции взаимодействия карбоната стронция с жидким алюминием. С увеличением температуры расплава с 943 К до 1173 К и уменьшением глубины погружения колокольчика с SrCO_3 в жидкий силумин с 1,0 м до 0 м отмечается плавная интенсификация реакции $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$.

Полученные данные подтверждают предположение о возможности проведения в производственных условиях модифицирующей обработки силуминов карбонатом стронция.

**Н. В. Слетова, С. П. Задруцкий, В. А. Розум, О. А. Русин,
Д. Н. Бандарович**

Белорусский национальный технический университет, Минск

НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИ- ЛУМИНОВ КАРБОНАТОМ СТРОНЦИЯ

Термодинамически установлена возможность проведения модифицирующей обработки расплава силумина карбонатом стронция в результате протекания результирующей реакции $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$. Определение рациональных технологических параметров рафинирующей обработки расплава алюминия карбонатом кальция проводилось экспериментальным путем.

Результаты экспериментов свидетельствуют что независимо от способа ввода карбоната стронция в расплав, с уменьшением размеров частиц порошка SrCO_3 , кинетика процесса модифицирования эвтектического кремния повышается, что, вероятно, связано с увеличением границы раздела $\text{SrCO}_3\text{-Al}$. Необходимо отметить эффективность интенсивного замешивания в расплав силумина порошка карбоната стронция при помощи импеллера или шумовкой. При использовании импеллера усвоение стронция происходит быстрее, чем при замешивании шумовкой. Так, получение полностью модифицированной структуры эвтектического кремния наблюдается после замешивания в расплав порошка карбоната стронция с размером частиц 60 мкм в количестве 0.5% от массы обрабатываемого металла импеллером и вручную шумовкой в течение 3 и 5,4 мин соответственно. Модифицирование силумина путем ввода карбоната стронция на зеркало расплава нецелесообразно из-за низкой кинетики процесса. Так, после 30-ти минутной выдержки структура эвтектического кремния является частично модифицированной, причем с увеличением времени выдержки интенсивность перехода стронция в расплав снижается, что, вероятно, связано с утолщением оксидной пленки, являющейся изолятором на границе $\text{SrCO}_3\text{-Al}$. При вводе карбоната стронция в расплав с помощью погружного колокольчика наблюдается очень слабый барботаж, что говорит о низкой кинетике реакции $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$. Данное явление, вероятно, связано с накоп-

лением в полости колокольчика в объеме порошка SrCO_3 продуктов реакции SrCO_3 с Al .

Одним из возможных путей повышения эффективности обработки расплава карбонатом стронция при использовании колокольчика является смешивание SrCO_3 с соединениями, обеспечивающими непрерывную экстракцию продуктов реакции карбоната с алюминием из колокольчика в ходе модифицирования. Таким соединением может являться карбонат кальция. Такой путь решения проблемы отличается простотой, вместе с тем может позволить использовать универсальный и широко распространенный в практике литейного производства колокольчик.

Для определения рациональных технологических параметров модифицирования силумина порошкообразным карбонатом стронция, ввод его в расплав проводился в интервале температур 943...1143 К при расходных характеристиках 0,3%, 0,4%, 0,5%, 0,6%, 0,7%, 1,0% от массы обрабатываемого металла и размерах частиц 20, 30, 40, 50, 60 мкм.

Установлено, что дисперсность карбоната стронция и температура обработки расплава в исследуемом диапазоне не оказывают существенного влияния на модифицирующую способность SrCO_3 . Полностью модифицированная структура эвтектики, соответствующая 125×10^3 включений эвтектического кремния на 1 мм^2 площади шлифа и переохлаждению при кристаллизации 7,5 К наблюдается при добавках порошкообразного SrCO_3 с размером частиц от 20 до 60 мкм в количестве 0,5% и выше от массы обрабатываемого расплава для всех рассмотренных температур.

Список литературы

1. *Куприянова И.Ю., Пархутик П.А., Савицкая Е.Н.* Модифицирующее влияние добавок сурьмы на структуру и свойства силуминов // Сб.: Металлургия. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – Вып.22. – С.22-27.
2. *Андрушевич А. А., Лубенский М. З., Пименова Г. П.* Модифицирование алюминиево-кремниевых сплавов стронцием // Литейное производство. – 1983. – №10. – С.9-10.

О РАЦИОНАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ СЛЯБИНГОВЫХ СЛИТКОВ В ИЗЛОЖНИЦЕ

При совершенствовании технологий разливки кипящей и спокойной стали в слябинговые слитки необходимо ускорить оборачиваемость составов с изложницами и другим сменным оборудованием (поддоны и прибыльные надставки). Это достигается за счет уменьшения времени пребывания слитков в изложницах от начала разливки стали до момента их стрипперования [1].

После стрипперования освобожденные от изложниц затвердевшие слябинговые слитки отправляются на склад слитков, откуда направляются холодным всадом в нагревательные колодцы с последующей их прокаткой на слябы, рулоны и лист. Такая технология передачи слитков под прокатку приводит к повышенному расходу энергии на нагрев холодных слитков.

Более эффективна технология [2] передачи слитков в нагревательные колодцы горячим всадом. Для реализации такой технологии нагрева слитков под прокатку целесообразно проводить их стрипперование (снятие изложниц) при незавершенном процессе затвердевания слитков. При этом в ячейке нагревательного колодца одновременно протекают два процесса: нагрев наружных слоев слитка и охлаждение неполностью затвердевшей сердцевины.

Это способствует экономии энергии для нагрева слитков в колодце до технологически заданной температуры прокатки за счет выделения скрытой теплоты кристаллизации стали и физического тепла жидкой и твердой фаз при охлаждении и затвердевании центральных объемов слитка [3]. Раннее стрипперование затвердевающих слитков (при минимально допустимой выдержке в изложницах) и уменьшение времени их охлаждения на воздухе способствуют сокращению продолжительности нагрева слитков в колодцах.

При широком сортаменте разливаемой стали и разных типоразмерах слитков в каждом конкретном случае необходима рациональная организация передачи слитков с незатвердевшей сердцевиной в нагревательные колодцы.

Чтобы определить момент стрипперования слитков с незатвердевшей сердцевиной, целесообразно проводить математическое моделирование [4] те-

пловых процессов их затвердевания в изложнице до начала стрипперования и после стрипперования при охлаждении затвердевающих слитков на воздухе до момента их передачи в нагревательные колодцы.

С помощью вычислительных экспериментов для разных моментов времени затвердевания слитков в изложнице и на воздухе можно получить распределение температуры по сечению слитка, толщину твердой корочки, ширину двухфазной зоны кристаллизации и момент исчезновения жидкой фазы. Если в незатвердевшей сердцевине слитков кипящей, полуспокойной или спокойной стали имеется жидкая фаза, то слитки нецелесообразно выдавать на прокатку до момента завершения их затвердевания в колодце.

Целью математического моделирования тепловых процессов в слитках с незатвердевшей сердцевиной является выравнивание температурного поля их наружных и внутренних слоев в ячейке нагревательного колодца и достижение температуры прокатки, которая всегда ниже температуры солидуса стали.

При отливке слябинговых слитков с введением в жидкий металл дробиннокристаллизаторов температура по сечению слитка распределена более равномерно из-за перемешивания расплава разливочной струей [4] и быстрого снятия начального перегрева стали по сравнению с обычными слитками, отлитыми без дроби. Это оказывает положительное влияние на выбор момента стрипперования слитков, режимов их охлаждения на воздухе и режимов нагрева слитков в ячейках нагревательного колодца.

Список литературы

1. *Ефимов В. А.* Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
2. *Легенчук В.И., Шепелев В.В., Бречко Е.Л. и др.* Освоение оптимальной технологии затвердевания и нагрева слитков с повышенным теплосодержанием / Проблемы стального слитка // Сб. науч. тр. – Киев : Ин-т проблем литья АН УССР, 1988. – С.101-104.
3. *Шебаниц Э. Н., Харин А. К., Изотов Б. В. и др.* Особенности математического моделирования нагрева стальных слитков перед прокаткой // Металл и литье Украины, 2012. – № 2-3. – С. 39-44.
4. *Соколовская Л. А., Мамишев В. А.* О математическом моделировании задач с фазовыми переходами в металлургии и литейном производстве // Процессы литья. – 2009. – № 2. – С. 24-29.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ И КРУПНЫХ ОТЛИВОК

Для улучшения качества структуры литого и деформированного металла необходимо разрабатывать рациональные тепловые режимы формирования слитков спокойной и кипящей стали. Чтобы получить более однородную структуру слитков и крупных отливок с высокими механическими свойствами литого металла необходимо интенсифицировать процесс их затвердевания.

В период формирования структурных зон слитков и отливок выделяется: 1) теплота перегрева расплава в их жидкой сердцевине; 2) скрытая теплота кристаллизации стали в зоне двухфазного состояния; 3) физическая теплота, теряемая корочкой затвердевшего металла. Интенсификация внешнего теплоотвода от жидкой сердцевины, двухфазной зоны и твердой корочки стального слитка в чугунную изложницу и от стальной отливки в песчаную форму усиливает неравномерное распределение температуры по их толщине.

К теплофизическим параметрам управления кристаллической структурой литого металла, которая формируется в двухфазной зоне слитков и отливок, относятся [1-4]: градиент температуры ($^{\circ}\text{C}/\text{мм}$), скорость охлаждения ($^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) и скорость затвердевания ($\text{мм}/\text{мин}$). В поверхностных слоях слитка или отливки эти параметры достигают максимальных значений, которые уменьшаются по величине при продвижении фронта затвердевания вглубь литой заготовки.

По данным температурных измерений [1] градиент температуры (тангенс угла наклона касательной к кривой распределения температуры по толщине слитка или отливки в точке пересечения с температурой солидуса стали) снижается от максимальных значений в их наружных слоях до минимальных значений в их тепловом центре. Это согласуется [3] с результатами расчета на ЭВМ нестационарных температурных полей в системе слиток-изложница.

На фронте затвердевания слитка или отливки скорость охлаждения (тангенс угла наклона касательной к кривой охлаждения в точке ее пересечения с температурой солидуса стали) и градиент температуры взаимосвязаны. Скорость затвердевания можно определять [4], как отношение скорости охлажде-

ния к градиенту температуры на фронте затвердевания (фронт солидус), который продвигается вглубь слитка или отливки от их поверхности.

Для интенсификации процесса затвердевания слитков и отливок в период образования их кристаллической структуры может быть полезным:

- 1) создание плотного теплового контакта слитка с изложницей или отливки с кокилем заливкой легкоплавкого сплава в газовый зазор между ними;
- 2) принудительное охлаждение поверхности слитка (отливки) и рабочей поверхности изложницы (кокиля) продувкой воздуха через газовый зазор;
- 3) стрипперование неполностью затвердевшего слитка для естественного охлаждения его поверхности или обдува этой поверхности холодным воздухом;
- 4) снятие начального перегрева расплава введением в жидкий металл слитка или отливки дробин-микрохолодильников или порошковой проволоки;
- 5) вынужденное перемешивание расплава с микрохолодильниками при наложении внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл.

Регулируя процесс теплоотвода от слитка или крупной отливки через стенки изложницы или формы в окружающую среду и процесс внутреннего теплоотвода от жидкой и кристаллизующейся стали к расплавляющимся дробинкам, можно управлять протяженностью структурных зон литого металла (зоны мелких равноосных дендритов, зоны столбчатых дендритов, переходной зоны глобулярных дендритов и зоны крупных равноосных дендритов).

Список литературы

1. *Ефимов В. А.* Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
2. *Вайнгард У.* Введение в физику кристаллизации металлов. – М.: Мир, 1967. – 172 с.
3. *Мамишев В. А., Соколовская Л. А.* О прогнозировании градиентов температуры в поверхностных и внутренних слоях затвердевающей заготовки методом вычислительного эксперимента на ЭВМ // Состояние и перспективы развития биметаллического и многослойного литья / Сб. науч. тр. – К.: Ин-т проблем литья АН УССР, 1991. – С. 119-122.
4. *Мамишев В. А., Шинский О. И., Соколовская Л. А.* Системный анализ процесса затвердевания литых заготовок разной массы и назначения // Процессы литья. – 2010. – № 1. – С. 20-24.

Н. П. Сопина, И. В. Козырь, А. А. Салей

Государственное высшее научное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОКСИДА БАРИЯ НА ТВЕРДЕНИЕ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

На сегодняшний день среди оксидов щелочноземельных металлов на твердение доменных гранулированных шлаков (ДГШ) наиболее полно изучено активизирующее действие оксида и гидроксида кальция.

Во многих литературных источниках упоминается об использовании в качестве активатора твердения ДГШ кроме щелочей и оксида кальция других соединений, дающих в воде щелочную среду. Однако на сегодняшний день применение барийсодержащих добавок для активизации твердения ДГШ остается малоизученным.

Поэтому целью данной исследовательской работы стало исследование возможности получения вяжущего материала на основе ДГШ с использованием в качестве активатора твердения насыщенного раствора гидроксида бария (баритовой воды).

Затворение доменных гранулированных шлаков дистиллированной и баритовой водой показало, что схватывание шлакового теста полученного с использованием баритовой воды происходит быстрее, чем бездобавочного. Замена дистиллированной воды на баритовую также способствовало повышению ранней и марочной прочности шлаковых цементов.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования в качестве активатора твердения доменных гранулированных шлаков баритовой воды. К тому же наличие в составе шлакового вяжущего гидроксида бария будет способствовать повышению его сульфато- и коррозионной стойкости при сохранении основных строительно-технических характеристик. Использование в качестве основного сырьевого материала шлаков обеспечит высокую степень утилизации отходов доменного производства, экономию ресурсов и топлива.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОЦЕНКА ФОРМЫ ГРАФИТА В ВЫСОКОПРОЧНОМ, КОВКОМ И СЕРОМ ЧУГУНАХ

При классификации графитных включений (ГВ) в высокопрочном, ковком и сером чугунах в соответствии с ГОСТ 3443- 87 исходят из сравнительной визуальной оценки реальных микроструктур с эталонными изображениями. Такой метод сопряжен с риском субъективности оценок особенно при ограниченном количестве эталонов и огромном многообразии реальных форм графитных включений (ГВ) даже в чугунах одного и того же вида.

Цель данной работы – разработка компьютерного критерия для анализа формы ГВ в высокопрочном, ковком и сером чугунах с оценкой количественной статистически значимой взаимосвязи этого критерия формы графита с эталонными изображениями графитных структур по ГОСТ 3443-87.

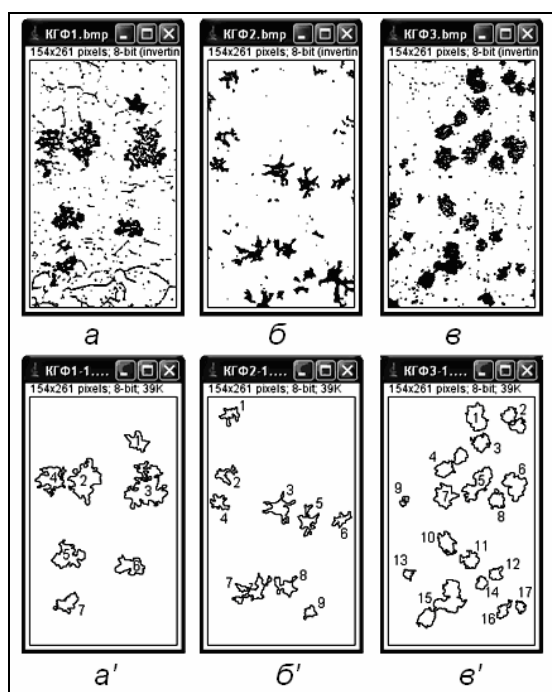


Рис. 1 – Эталонные (а – в) и контурные (а' – в') изображения графита в КЧ

Для количественной оценки различных индивидуальных и обобщенных характеристик ГВ в эталонных изображениях графитных структур по ГОСТ 3443-87 использовали программу *ImageJ* (Freeware). Для загрузки в программу исследуемых объектов использовали микрофотографии -эталонные из ГОСТ 3443-87 (рис. 1, верхний ряд) предварительно переведенные из серых полутонов в черно-белые изображения. Эти изображения последовательно загружали в программу *ImageJ*, преобразовывали в 8-битовый формат, бинаризовали и в результате по-

лучали контурные копии исходных ГВ с нумерацией (рис. 1, нижний ряд) для

последующей идентификации их с индивидуальными количественными оценками в результирующем файле. В качестве индивидуальных параметров оценки формы всех ГВ использовали:

фактор формы $C = 4\pi P/p^2$, округлость $R = 4P/\pi L^2$, плотность $S = P/P_{eo}$,

где P – площадь ГВ, P_{eo} – площадь выпуклой области, охватывающей ГВ, p – периметр, L – главная ось включения.

Для вывода значений этих параметров в итоговую таблицу необходимо внести соответствующие установки в меню *Analyze – Set Measurements – Analyze Particles*.

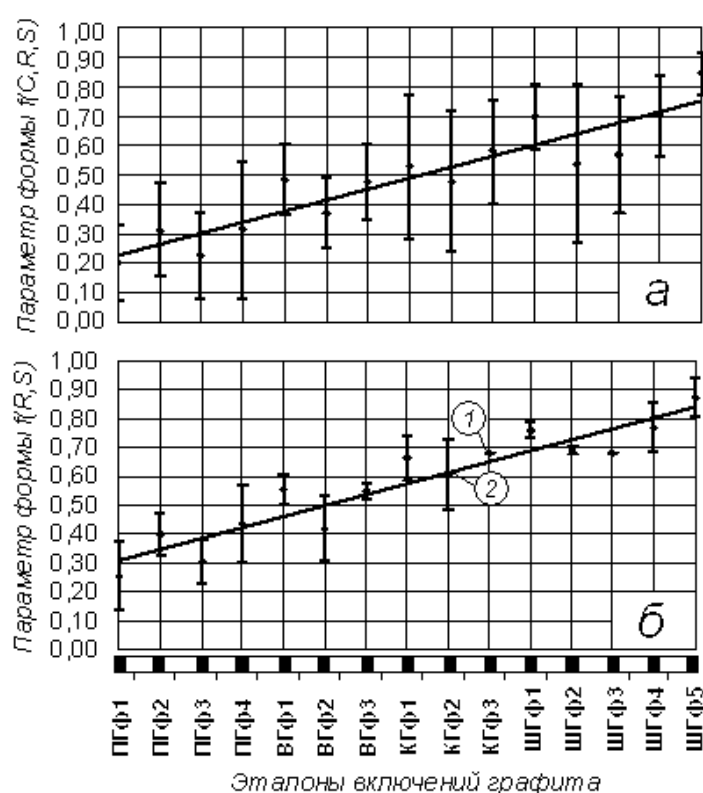


Рис. 2 – Зависимость эталонной структуры ГВ: а - от параметра формы $f(C, R, S)$; б - и параметра $f(R, S)$

основе усредненных значений округлости R и плотности S графитных включений (рис. 2).

Контрольное определение соответствия двух произвольно выбранных структур графита в ковком чугуна со значениями параметра ЭСГ – $f(R, S)$ 0,61 и 0,68 позволил установить наиболее точное соответствие этих структур эта-

Корреляционный анализ соответствия оценок формы ГВ по этим параметрам эталонным структурам графита (ЭСГ) показал следующие результаты:

ЭСГ – $f(C)$, $r = 0,80$;

ЭСГ – $f(R, S)$, $r = 0,94$;

ЭСГ – $f(R)$, $r = 0,87$;

ЭСГ – $f(C, R, S)$, $r = 0,92$;

ЭСГ – $f(S)$, $r = 0,93$.

Как следует из приведенных данных, наибольшей теснотой связи с эталонами ГОСТ 3443-87 характеризуется комплексный критерий на

лонным структурам КГф2 и КГф3 (рис. 2, б). Традиционное визуальное сопоставление выбранных графитных структур с эталонными структурами подтвердило адекватность расчетных данных.

УДК 621.74:669.131

О. В. Соценко, А. В. Белич, Л. Х. Иванова, А. Ю. Калашникова
Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ЗУБА КОВША ЭКСКАВАТОРА

В работе с использованием комплекса программ SolidWorks - LVMFlow выполнили моделирование технологии литья детали зуб ковша экскаватора ЭКГ-8 с целью минимизации прогнозируемых дефектов усадочного происхождения. Основные характеристики детали: материал – сталь 110Г13Л, габариты –1120 x 390 x 170 мм, масса 196,3 кг.

Отливка является сменной деталью, работающей в условиях интенсивного истирания и больших ударных нагрузок, поэтому к ее качеству предъявляются высокие требования. Использование для зубьев ковша экскаватора стали 110Г13Л сопряжено с рядом сложностей в технологии их изготовления. Во-первых, для сопряжения с передней стенкой ковша экскаватора при относительно больших габаритных размерах (более 1 м) отливка должна иметь высокую размерную точность, так как механической обработке сталь 110Г13Л практически не поддается. Во-вторых, отливки из этой стали обладают высокой склонностью к пригару из-за большой жидкотекучести и пониженного поверхностного натяжения, вызываемого окислами марганца. Кроме того, следует принимать во внимание повышенную усадку высокомарганцевой стали и ее склонность к образованию горячих трещин.

В процессе моделирования было опробовано 4 варианта технологии литья детали. Для всех вариантов моделирования применяли: горизонтальное расположение двух моделей в форме с расстоянием между зубьями 440 мм; симметричный разъемом по зеву зуба; одинаковая литниковая система, которая выполняется керамическими шамотными огнеупорами с диаметром литникового хода 35мм; экзотермическая вставка для прибыли высотой 300 мм. В качестве варьируемых факторов принимали: диаметр подприбыльной части (250-

300 мм); длину перешейка-питателя прямоугольной формы между прибылью и полостью формы (70 – 75 – 96 мм) с площадью поперечного сечения 64,7 см²; массу ЛПС (293 - 373 кг).

На первом этапе моделирования в программе SolidWorks создавали трехмерную модель отливки с монтажными отверстиями (рис. 1, а). На втором этапе для моделирования процессов заливки и затвердевания ее экспортировали в программу LVMFlow. В модуле «Полное задание» применили следующие начальные установки и параметры заливки: размер ячейки - 15 мм; материал отливки – сталь 110Г13Л; формовочный материал – песчано-глинистая смесь; заданная температура заливки - 1440 °С; начальная температура песчаной форм - 20 °С; способ заливки – гравитационное литье; условие прекращения расчетов – достижение в отливке температуры 300 °С. Скриншоты одного из лучших вариантов моделирования технологии литья зуба экскаватора представлены на рис. 1. Как следует из рис. 1, а, концентрированная усадочная раковина сформировалась в прибыли, и образование лишь незначительных усадочных дефектов прогнозируются в теле отливок.

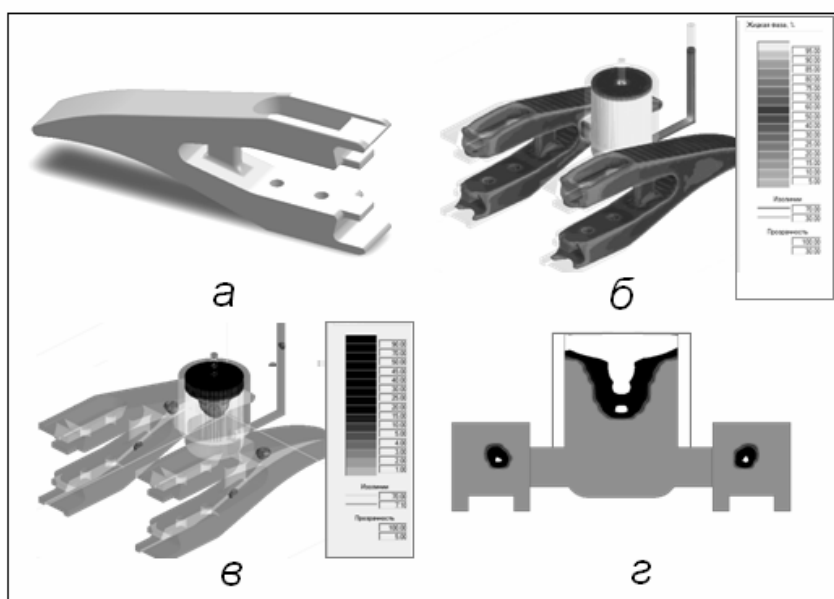


Рис. 1 – Скриншоты процесса моделирования: а – модель; б – жидкая фаза; в – усадка; г – усадка в поперечном сечении

Результаты компьютерного моделирования были рекомендованы для практической реализации, как обеспечивающие минимизацию усадочных дефектов в отливке зуба экскаватора из стали 110Г13Л. Промышленное опробование предложенного технологического решения подтвердило его эффективность.

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ В ПРОГРАММЕ SKETCHUP 8

Современное программное обеспечение и компьютерная техника позволяют решать задачи эффективности разработки технологических процессов, режимов заливки, затвердевания металла в форме и в целом обеспечить работу инженера технолога литейного цеха. Для 3D моделирования оснастки и отливок разного уровня сложности наибольшее применение получили пакеты программ AutoCAD, КОМПАС, SolidWorks и др. Эти программы относятся к категории коммерческих – весьма дорогостоящих, что в значительной мере ограничивает к ним доступ студентов и рядовых технологов. Эффективное освоение этих программ требует значительных затрат времени.

В работе выполнено компьютерное 3D моделирование литейной оснастки и отливок с использованием программы SketchUp 8. Трехмерное компьютерное моделирование элементов технологического процесса литья с использованием SketchUp 8 позволяет создавать различные модели элементов литейной технологии с минимальной затратой времени. SketchUp 8 совершенно «молодая» программа. Она бесплатна (Freeware), доступна в сети Internet, привлекательна удобным интерфейсом, позволяет создавать сборки разных деталей в один рабочий узел и может быть освоена для практического использования в течение нескольких часов, что является важным преимуществом по сравнению с другими САПР.

SketchUp для Microsoft Windows - обманчиво простое, чрезвычайно мощное программное средство для создания, обзора и редактирования 3D объектов. SketchUp сочетает элегантность и легкость дизайна «от руки» со скоростью и гибкостью цифровых технологий.

Сравнение SketchUp 8, например, с САПР AutoCAD показало, что они являются абсолютно разными программами для достижения одной и той же цели. Они решают одинаковые задачи, но по совершенно разной технике. Программное обеспечение AutoCAD давно существует на мировом рынке и, благодаря этому значительно усовершенствовалось и расширило свои возможности. Этот

фактор несет как плюсы возможностей, так и минусы громоздкости и неудобности программы.

В качестве реальных объектов для оценки возможностей программы SketchUp 8 выполнили моделирование литейной формы сортопрокатного валка и оснастки для литья колеса червячной передачи из чугуна СЧ20. Основные характеристики этой детали: габариты - $\varnothing 504 \times 75$ мм, средняя толщина стенки – 30 мм, масса 112,5 кг. Величину усадки приняли 1,2%.

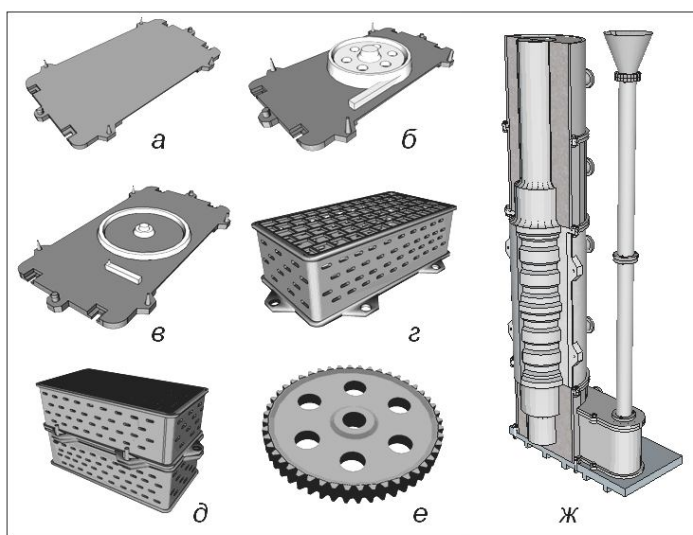


Рис. 1 - Модельная оснастка и элементы литниковой системы: модельная плита (а) с моделью низа и питателем (б); модельная плита с моделью верха и шлакоуловителем (в); нижняя (верхняя) опока (г); готовая литейная форма (д); готовая деталь (е); литейная форма сортопрокатного валка (ж)

Комбинированной литейной формы с разъемным кокилем для сортопрокатного валка представлена на рис. 1, ж.

Экспертное сравнение результатов компьютерного 3D моделирования оснастки для литья этих же деталей в программах КОМПАС, SolidWorks и SketchUp 8 показало высокий уровень их идентичности. Программа SketchUp 8 может быть успешно использоваться технологами литейных цехов, а также при подготовке магистров-литейщиков для ознакомления с основами 3D моделирования литейной оснастки и отливок.

Стандартная надпись точности модельного комплекта – Точность МК6-металл ГОСТ 3212-92. Материал модельной плиты для формовки верхней и нижней полуформ (рис. 1, а) – сталь марки 25Л. Модель разъемная из алюминиевого сплава марки АК7 ДСТУ 2839-94 (рис. 1, б, в).

Опоки – крановые литые из стали 25Л с внутренними размерами 1270 x 670 x 380 мм (рис. 1, г). Литейная форма в сборе для колеса червячной передачи показана на рис. 1, д, а модель готовой детали – на рис. 1, е. 3D модель Комбини-

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИДЕНТИФИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Во многих случаях важной задачей является оценка риска возникновения дефектов литья в зависимости от разнообразных нарушений технологического процесса изготовления отливок. Для решения задачи должны быть идентифицированы опасности, являющиеся причиной риска, а также пути, по которым эти опасности могут реализовываться (МЭК 60300-3-9).

Идентификация опасности предполагает систематическую проверку исследуемой системы с целью выявления типа присутствующих неустраняемых опасностей и способов их проявления. Статистические записи дефектов и опыт предшествующих анализов риска могут обеспечить полезный вклад в процесс идентификации опасности. Следует признать, что существует элемент субъективизма во мнениях об опасностях и что идентифицированные опасности не всегда могут быть в исчерпывающей мере теми опасностями, которые могли бы представлять угрозу для системы. Необходимо, чтобы идентифицированные опасности подвергались пересмотру при поступлении новых данных.

В литейном производстве чаще всего используются многофакторные процессы, модели которых, как правило, представляют собой системы сложных дифференциальных уравнений с большим количеством переменных [1, 2]. Их решение сталкивается не только с математическими трудностями, – ведь, практически, все используемые в таких уравнениях коэффициенты, свойства применяемых материалов и параметры окружающего среды носят стохастический характер с довольно большим разбросом значений.

В то же время не меньшие проблемы создают и организационно-психологические факторы: режимы процессов, полученные в результате сложных расчетов, не соблюдаются, показания точных приборов игнорируются, составы используемых смесей не выдерживаются. Причиной этих нарушений зачастую является то, что на этапах техпроцесса используются сезонные либо случайные рабочие, которые не соответствуют культуре производства, поддерживаемой на предприятии.

В этих условиях сложно не только проектировать и управлять процессами литья, но и контролировать их соответствие действующим нормативным документам, которые в реальном производстве чаще всего сознательно или бессознательно нарушаются. Все это приводит к тому, что производители отливок не всегда могут найти действительные причины возникающего брака: техпроцесс неудачно спроектирован, в работе материалы с отклонениями свойств, сработал «человеческий фактор» и т.п.

Для решения этих проблем предлагается метод, который состоит во введении в технологический процесс литья структурных идентификаторов.

Химический состав, количество и метод введения того или иного вещества определяется перечнем контролируемых параметров, диапазоном изменений каждого из них и другими технико-экономическими факторами. Основные требования к идентификаторам: однозначность и значимость признаков, нетоксичность и относительно небольшая стоимость. В основе «работы» предлагаемых структурных идентификаторов лежит наличие перколяционного порога в процессе замещения некоторой доли неизменённого идентификатора на изменённый.

Испытание системы идентификации в условиях действующего производства и техпроцесса с заведомо правильными характеристиками (т.е. такого, который при тщательном соблюдении режимов формообразования, плавки и литья давал заведомо положительные результаты по качеству поверхности отливок) показал следующие результаты.

Список литературы

1. *Баландин Г.Ф.* Основы теории формирования отливки. – Часть 1. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
2. *Серебро В.С.* Процессы тепло– и массопереноса при формировании отливки. – К.: УМК ВО, 1992. – 79 с.

ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В АСУ ТЕХНОЛОГИЕЙ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Создана система технической диагностики и компенсации скрытых нарушений в работе замкнуто-разомкнутых систем управления литейным производством, основанная на блоках искусственного интеллекта. Система содержит пять основных подсистем, соответствующих пяти решаемым главным задачам: раннего обнаружения скрытого нарушения; технической диагностики; компенсации скрытого нарушения; подготовки и переподготовки обслуживающего персонала; идентификации личности обслуживающего персонала.

Если ситуация на объекте «штатная», работает только первая подсистема, если же она устанавливает факт наличия нарушения, автоматически запускается вторая, а затем третья и т.п. подсистемы.

На втором и третьем этапах предусмотрено, в случае возникновения необходимости, привлечение эксперта (группы экспертов). По мере обучения, система все реже и реже обращается к экспертам. Кроме того, на всех этапах предусмотрено подключение интеллектуальных технологий – искусственных нейронных сетей различной конфигурации, предназначенных для прогнозирования развития состояний объекта и классификации «диагнозов», а также «умных» технологических идентификаторов, сигнализирующих об этих состояниях.

Рассмотрим в качестве примера техпроцесс, литья в оболочковые формы, в который входят девять последовательно выполняемых операций. На вход подсистемы обнаружения подаются данные, снимаемые непосредственным измерением с конкретных отливок. Покажем далее на примере, каким образом сбои в работе технологии приводят к скрытым нарушениям, и как система обнаружения, диагностики и компенсации скрытых нарушений решает эти задачи. Пусть имеется система управления литьем в оболочковые формы и оборудование, на котором это нанесение осуществляется.

Перечень учитываемых параметров процесса: **входные**: r – основной размер зерна огнеупорного наполнителя, м; α – содержание смоляного связующего, %; d – плотность формы, кг/м³; P – пористость формы, %; δ – толщина фор-

мы, м; T_1 – температура заливки, К; **промежуточные**: T_2 – интегральный показатель датчика температуры формы вблизи рабочей поверхности, ед; t – время достижения первого максимума давления газов в форме, с; **выходные**: R – шероховатость поверхности, не пораженной пригаром и раковинами, м; Z – наличие пригара, балл; V – наличие поверхностных раковин, балл.

Пусть в результате мониторинга перечисленных выше характеристик в базе данных системы накопились поцикловые (полученные измерением по завершении каждого цикла выбивки) временные ряды входных данных, средние за цикл значения выходных параметров и, наконец, средние за цикл значения интегральных промежуточных параметров.

Определение диагноза нарушений в литейной технологии происходит с помощью второй подсистемы на основании обработки тех же исходных данных и информации, хранящейся в базе данных подсистемы и полученной при предыдущих диагностик. В нашем примере в базе данных хранятся 15 диагнозов, каждому из которых соответствуют векторы весов нейронов сети Кохонена, являющихся «победителями» для этих диагнозов.

Кроме того, в базе данных содержится информация об известных «диагнозах». В рассматриваемом примере у параметра t изменение между первым учитываемым циклом и прогнозом составило более 46 %, а у двух параметров: P и Z это изменение близко к критическому – 20 %. Это говорит о том, что в работе системы присутствует скрытое нарушение.

Далее, в соответствии с принятой методикой, этот новый диагноз необходимо распознать. Для этого были приглашены эксперты-литейщики.

Список литературы

1. Становский А.Л. Идентификация технических и организационных нарушений в технологии литейного производства [текст] / А.Л. Становский, А.А.Коряченко, И.Н. Щедров // Литейное производство. – 2011. – №4. – С.27-30.

ТЕРМОДИНАМИКА РАФИНИРОВАНИЯ ЧУГУНА СПЛАВАМИ

Для обеспечения высоких механических и эксплуатационных свойств отливки из высокопрочного чугуна должны иметь равномерную структуру по сечению, высокую степень сфероидизации графита и минимальное количество неметаллических включений в виде мелких изолированных частиц. Часть неметаллических включений образуется в результате высокотемпературных химических реакций между основными компонентами металлического расплава и его вредными примесями (кислород, сера и др.). Для связывания вредных примесей в соединения, которые располагаются не по границам зерен, а присутствуют в виде изолированных мелких включений, используют сплавы с активными металлами (Mg, Ca и др.). Высокая химическая активность этих металлов обеспечивает достаточно глубокое рафинирование чугуна.

Термодинамическое исследование рафинирования чугуна сплавами FeSi, SiCa, SiBa, ФСМг2, ФСМг7 и ЖКМК4 проводили с учётом химического состава чугуна и сплавов. Определяли температурную зависимость свободной энергии Гиббса (ΔG_T^0) реакций рафинирования. Результаты исследования приведены на рис. 1-4.

Показано, что минимальной рафинирующей способностью обладает ферросилиций. Силикокальций и силикобарий рафинируют чугун примерно одинаково. Сфероидизирующие лигатуры с магнием вступают в реакции с вредными примесями чугуна более активно. Увеличение в составе лигатур магния и кальция приводит к росту рафинирующей способности. Для реакций раскисления и деазотации увеличение температуры чугуна снижает рафинирующую способность сплава. Десульфурация и удаление водорода интенсифицируются с ростом температуры.

Наиболее активно происходит удаление кислорода: изменение величины ΔG_T^0 составляет от – 100 для ФС75 до – 340 кДж/г-атм для ЖКМК4. Десульфурация протекает немного менее активно. Удаление азота и водорода происходит гораздо слабее. Сфероидизирующие лигатуры с большим содержанием ак-

тивных элементов (Mg, Ca и др.) обладают наибольшей рафинирующей способностью.

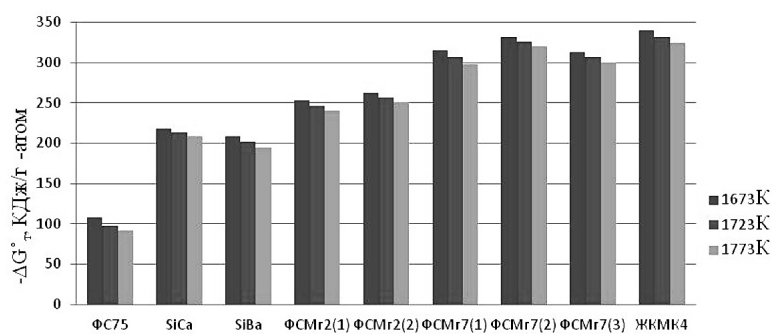


Рис. 1 - Изменение свободной энергии Гиббса ΔG°_r , реакций раскисления чугуна

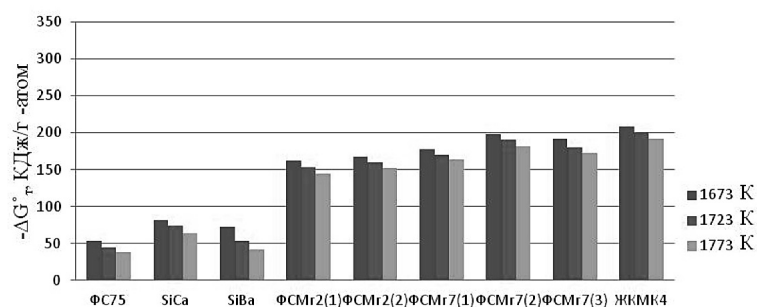


Рис. 2 - Изменение свободной энергии Гиббса ΔG°_r , реакций деазотации чугуна

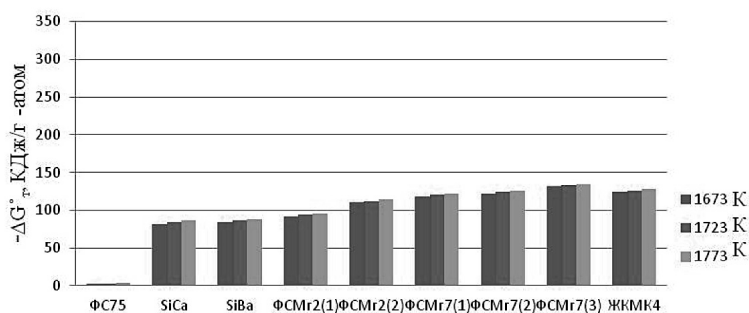


Рис. 3 - Изменение свободной энергии Гиббса ΔG°_r , реакций дегидритизации чугуна

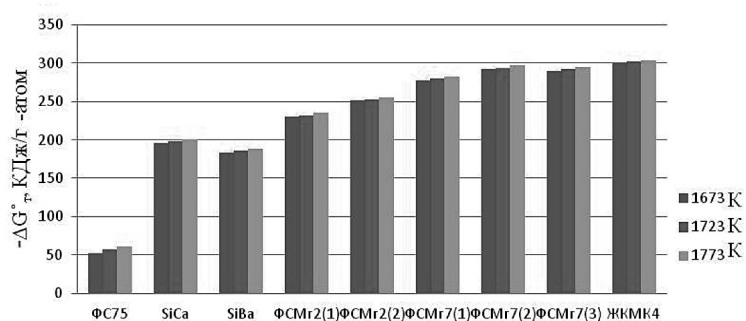


Рис. 4 - Изменение свободной энергии Гиббса ΔG°_r , реакций десульфурации чугуна

ПРО РОЛЬ ЛИВНИКОВОЇ СИСТЕМИ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ

Питання підвищення якості та зменшення браку виливків залежить від правильного, достовірного та ефективного методу лиття, їх термічної обробки.

В більшості випадків виготовлення виливків із сплавів кольорових металів проходить за допомогою спеціальних методів лиття. Великий відсоток складає процес лиття за моделями, що витоплюються. Через використання великої кількості процесів виробництва та номенклатури виробів, цей спосіб виробництва виливків із кольорових сплавів є досить проблематичним.

Таким способом можна отримувати виливки будь-якої складності з різною товщиною стінок, які майже не вимагають механічної обробки.

Правильно запроектована ливникова система при литті за моделями, що витоплюються повинна задовольняти наступні основні потреби:

- забезпечувати ламінарне заповнення форми металом;
- мінімізувати поверхневі дефекти у вигляді засмічень, шлакових включень, поруватості тощо;
- забезпечувати технологічність блоку моделей та виливків на всіх операціях технологічного процесу аж до відрізання виливків від ливникової системи.
- сприяти найбільшому виходу придатного литва.

Ливникові системи мають значний вплив на якість деталей та на техніко-економічні показники виробництва виливків за моделями, що витоплюються. Зазвичай 10...30% браку виливків, що виробляються цим методом, пов'язано з ливниковою системою і, з недостатнім живленням металом під час затвердіння.

Особливість ливникової системи при литті за моделями, що витоплюються ґрунтується на тому, що вона є основою конструкції, яка утримує на собі моделі виливка. Конструкції ливникових систем, які застосовуються на практиці залежать від роду сплаву, від вимог, що ставляться до виливків, від їх розмірів, конфігурації, маси, складності, від товщини стінок та ряду інших факторів.

За способом підведення металу до виливка ливникові системи можна розділити на чотири типи:

- 1 - з підведенням металу зверху;
- 2 - знизу – сифоном;
- 3 - збоку – горизонтальний чи нахилив живильник;
- 4 - комбінований спосіб, коли поєднуються 2 чи 3 способи підведення металу.

Правильно вибрана ливникова система забезпечує хороше заповнення форми; високу якість виливків, без усадкових раковин, поруватості, без сторонніх включень, жолоблення, з мінімальними внутрішнім напруженням, високі механічні характеристики виливків. При цьому маса, розміри ливникової системи повинні бути якнайменші. Модель ливникової системи, яка одночасно є опорною конструкцією повинна бути міцною. Для правильного вибору конструкції ливникової системи та визначення розмірів її основних елементів необхідно правильно визначити місця для підводу металу (за товщиною стінки виливка), напрямок (зверху, знизу, збоку, комбінований) та положення деталі під час заливання (горизонтальне, під кутом, вертикальне).

Досліди проводили на латуні ЛС59-1, підведення живильників до виливка зроблено зверху, положення виливків під кутом та вертикальне. Для виготовлення блоку використовувалась воскова маса виробництва фірми Castaldo Super Cera. Для формування використовувалась гіпсо – кристобалітова формувальна суміш виробництва Kerr Cast. Заливання металу у форму – моноліт відбувалося примусово вакуумним всмоктуванням.

Під час проведення дослідів фіксувались такі параметри:

- температура металу у тиглі;
- початкова температура форми перед заливанням металу;
- площа та глибина проникнення дефектів;
- величина усадкової раковини.

За результатами роботи визначено, що на величину поверхневих дефектів впливають температура форми і геометрія підведення ливникової системи до виливків.

**Л. В. Трибушевский, Б. М. Немененок, Г. А. Румянцева, С. П. Задрецкий,
А. Д. Иванов**

Белорусский национальный технический университет, Минск

ОСОБЕННОСТИ ПЫЛЕГАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПЛАВКЕ СТРУЖКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В КОРОТКОПЛАМЕННОЙ РОТОРНОЙ ПЕЧИ

При рециклинге дисперсных отходов алюминиевых сплавов наиболее целесообразно использование роторных печей.

Однако для достижения удовлетворительной степени извлечения алюминия необходимо применение большого количества флюсов (до 400 кг на 1 т алюминия), что приводит к образованию значительных объемов отходящих газов, для очистки которых требуется дорогостоящая и сложная аппаратура. Кроме того, возникает проблема переработки солевых шлаков, накапливающихся в больших количествах. Поэтому необходима оптимизация технологии переработки отходов алюминия с учетом экологических требований к защите окружающей среды.

В качестве объекта исследования была выбрана короткопламенная роторная печь емкостью 800 кг, работающая на жидком топливе.

Пробы пыли в отходящих газах отбирали от боровов перед циклоном на протяжении всей плавки. Параллельно определяли содержание в газах CO , NO и NO_x с помощью электронного газоанализатора MSI 150 "EURO". Концентрацию хлоридов и фторидов контролировали по стандартным методикам.

Для исследований использовали добавку флюса в количестве 12 % от массы металлозавалки и наряду со стандартным рафинирующим флюсом (47 % KCl , 30 % NaCl , 23 % Na_3AlF_6) применяли покровно-рафинирующий флюс (13 % KCl , 55 % NaCl , 17 % Na_3AlF_6 , 10 % Na_2CO_3 , 5 % $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

В разогретую печь перед началом плавки засыпали около 4 % флюса и по мере его расплавления в несколько приемов загружали подготовленную алюминиевую стружку, которую замешивали в расплав за счет вращения печи.

Оставшийся флюс засыпали постепенно по мере завалки шихты и ее расплавления. В конце плавки расплав перегревали примерно до 780 °С и сливали в ковш для дальнейшей разливки в чушки, а образовавшийся шлак сбрасывали в контейнер.

Следует отметить существенные колебания газа по запыленности и химическому составу для обеих серий плавки при загрузке шихтовых материалов и во время плавки. Удельные выбросы загрязнений при загрузке шихты и во время плавки приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Удельные выбросы загрязняющих веществ (кг/т) при переплаве алюминиевой стружки в короткопламенной роторной печи в период загрузки

Варианты технологий плавки	Пыль	Хлориды	Фториды	Оксиды азота	Оксиды углерода	Диоксид серы	Прочие
серийная	4,1814	0,7229	0,2854	0,2953	2,4067	0,5417	0,5395
опытная	4,0712	0,7023	0,2644	0,2958	0,4095	0,5392	0,5384

Примечание: в графе «прочие» приведено суммарное значение удельных выбросов углеводородов C11-C19, формальдегида, ацетона, уксусной кислоты, фенола, метанола и толуола, которые выделяются при завалке шихты в разогретую роторную печь. При плавке данные соединения не выделяются.

Таблица 2 – Удельные выбросы загрязняющих веществ (кг/т) при переплаве алюминиевой стружки в короткопламенной роторной печи в период плавки

Варианты технологий плавки	Пыль	Хлориды	Фториды	Оксиды азота	Оксиды углерода	Диоксид серы
серийная	0,9955	0,4948	0,1192	0,2764	1,3887	0,2083
опытная	0,9920	0,4816	0,1075	0,2769	1,3906	0,2041

Следует отметить, что по обеим технологиям доля пылегазовых выбросов при загрузке шихты составляла около 70 %. Это связано, в первую очередь, с выгоранием загрязнений, вносимых шихтой – остатков масел, смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), органических соединений. Как следует из таблиц 1, 2 использование нового флюса незначительно снижает удельные выбросы, поскольку их главным источником являются компоненты шихты.

Взвешивание продуктов плавки после их охлаждения показало, что использование нового флюса обеспечило увеличение металлургического выхода с 83,2 % до 85,0 % по сравнению с серийной технологией, содержание алюминия в шлаке снизилось с 11,2 % до 7,6 % при уменьшении общего количества шлака с 29,2 % до 27, 3 %. Полученные результаты подтвердили целесообразность использования предложенного варианта технологии переплава стружечных отходов алюминиевых сплавов в роторной печи.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время, выживаемость предприятия зависит от внедрения новых технологий, которые влекут за собой ряд перестроек целого предприятия, а именно: переход предприятий на новый уровень станочного парка, а отсюда новый подход как к конструированию изделий так и к проектированию оснастки для их изготовления.

Внедрение новых технологий и станков нового поколения позволяют повысить не только качество выпускаемых изделий, но и ускорить процесс как подготовки производства так и выпуск готового изделия в целом.

Так внедрение в производство n-координатных станков позволяет иначе подойти к конструированию изделий и проектированию их оснастки.

На первый этап проработки технологичности изделия выходит математическое моделирование, позволяющее минимизировать ошибки еще на стадии его разработки, что уменьшает затраты времени на подготовку производства и освоение новых изделий.

Однако при проектировании оснастки, изготовление которой планируется на n-координатном станке, следует не забывать о качестве получаемой отливки или модели.

Практика показывает, что расчлененная оснастка по сроку службы во много раз долговечнее, а качество, получаемых отливок или моделей намного превышает качество изделий, полученных на монолитной оснастке. Отъемные части должны, обязательно, изготовлены с элементами газоотводов и с учетом, влияющих факторов оборудования на котором они будут изготовлены. Например, оснастка, изготовленная на установке «Vanguard» (технологии Rapid Prototyping). Элементы оснастки должны быть расположены на столе построения в одной оси, а оснастка должна быть спроектирована с учетом поправочных коэффициентов отклонения, приведенных в таблице [1].

Таблица

Наименование установок	Материал	Гарантированный допуск, мм	Поправочный коэффициент отклонений – K_o , %		
			X	Y	Z
SLA-5000	Фотополимерная смола	$\pm 0,05$	$-0,05 \div -0,25$	$0,05 \div 0,15$	$0,10 \div 0,30$
Vanguard HS	Dura Form, Dura Form GH (полиамидный порошок)	$\pm 0,40$	$0,80 \div 1,30$	$0,15 \div 0,45$	$1,15 \div 2,30$
	ST-100 (KM_{Fe-Cr}), A6 (KM_{Fe-W}) (металлический порошок)	$\pm 0,30$	$0,80 \div 1,10$	$0,35 \div 0,60$	$1,10 \div 2,30$

Такой подход позволяет не только избежать коробления, растрескивания оснастки, но и получить качественную отливку или модель.

На Рис. 1,2 показаны модель отливки, модель расчлененной оснастки (верх не показан), соответственно.

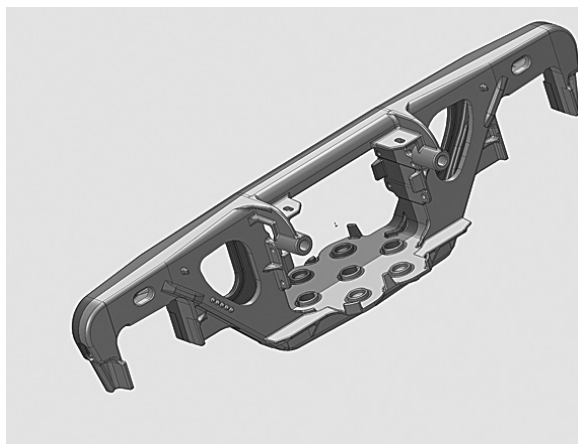


Рис.1 Модель на отливку «Рама-боковая»

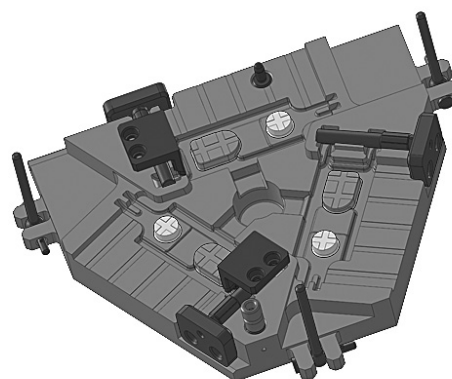


Рис. 2 Модель 3-х местной Пресс-формы на отливку «Рычаг»

Список литературы

1. *Тринева Т. Л.* Технологические процессы изготовления литейной оснастки с использованием методов быстрого прототипирования. Дис. канд. техн. На-ук. Киев, 2009. -200с.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ Ti НА СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫДЕЛЕНИЯ КАРБОНИТРИДОВ Nb И V В ОТЛИВКАХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

В упрочнении низкоуглеродистых микролегированных сталях значительную роль играют процессы выделения карбидов и карбонитридов из твёрдого раствора. Применяемые при модифицировании сталей растворимые порошковые модификаторы на основе карбидов и нитридов Ti, Nb и V помимо воздействия на процессы кристаллизации оказывают микролегирующий эффект. Следовательно, теоретический расчёт карбонитридообразования представляет научный и практический интерес. В данном исследовании с применением математического конечноразностного моделирования оценено влияние различных содержаний титана на выделение карбонитридов Nb и V в стали состава: C – 0,1 %, Mn – 1,5 %, Si – 0,25 %, Al – 0,03 %, Nb – 0,02 %, V – 0,02 %, N – 0,005 %.

Из приведенных на рис.1 графиков видно, что изменение содержания Ti оказывает влияние на характер изменения состава карбонитридов Nb и V по мере их выделения при снижении температуры металла.

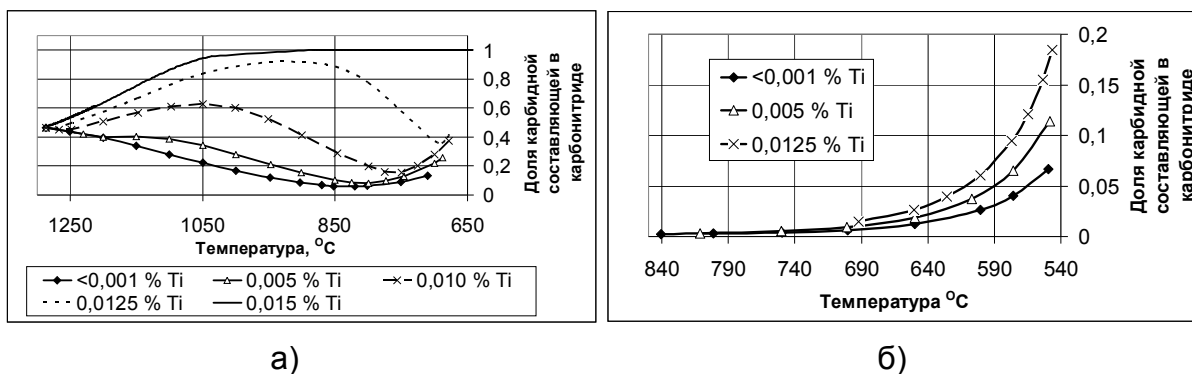


Рис.1 – Влияние содержания Ti на температурную зависимость состава карбонитридов Nb и V: а) карбонитрид Nb; б) карбонитрид V

Титан имеет сильное сродство к N, и доля C в карбонитриде Nb с ростом содержания Ti увеличивается. На кривой появляется максимум, с возрастанием содержания Ti (до 0,0125 %) становящийся более выраженным (рис.1а). Наличие его объясняется изменением количества выделяющихся нитридов Ti и изменением расхода N на их формирование: вначале Ti забирает большие количества N, и доля нитридной составляющей в карбонитриде Nb падает, когда

значительная часть Ti израсходована, доля N в карбонитрида Nb вновь возрастает. При повышении содержания Ti до значений $\geq 0,015$ % наступает момент, когда N оказывается связан и начинается выделение карбидов. При меньших содержаниях Ti в низкотемпературной области наступает момент, при котором, N становится настолько мало, что доля карбидной составляющей начинает возрастать, что объясняет минимум на кривых. Температура начала выделения карбонитрида Nb не зависит от содержания Ti в рассмотренных пределах. Влияние Ti на изменение состава карбонитридов V (рис.1б) имеет иной характер: доля карбидной составляющей монотонно повышается по мере снижения температуры и возрастает по мере увеличения содержания Ti. При содержании $Ti \approx 0,015$ %, N оказывается связан до начала выделения соединений V. В этом случае V образует карбид при температурах ниже 480 °C (на графике не обозначен). Температура начала выделения карбонитрида V зависит от содержания Ti и снижается от 840 °C (0 % Ti) до 690 °C (0,0125 % Ti). Температура выделения VC при содержании $Ti \geq 0,015$ % мало зависит концентрации Ti.

На рис. 2 приведены графики, описывающие влияние Ti на изменение состава твёрдого раствора при выделении карбонитридов Nb и V.

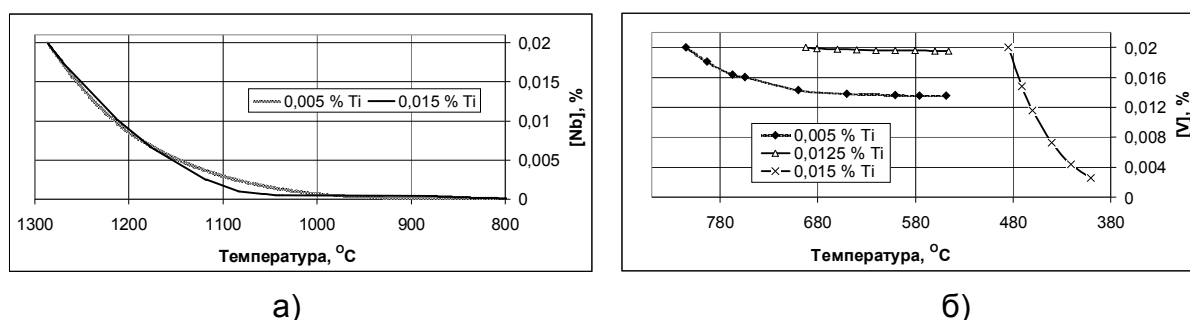


Рис.2 – Влияние Ti на температурную зависимость состава твёрдого раствора:
а) карбонитрид Nb; б) карбонитрид V

При температурах ниже 1000 °C большая часть Nb связывается в карбонитриды, и количество более низкотемпературных его соединений мало. Изменение содержания титана практически не влияет на процесс (рис 2а).

Повышение концентрации Ti в пределах 0,005...0,0125 % снижает количество выделившегося карбонитрида V и увеличивает его остаточное содержание в твёрдом растворе (рис. 2б). Повышение концентрации Ti до $\geq 0,015$ %, стимулируя выделение низкотемпературного VC, приводит к образованию значительного его количества и заметному снижению остаточного содержания V.

Полученные результаты позволяют повысить эффективность карбонитридного упрочнения при модифицировании качественных сталей.

ПРОИЗВОДСТВО СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

Арматура – это изделие, относящееся к сортовому металлопрокату. Выполнена арматура в виде стального стержня, сечение которого выполнено в круглой форме. Широко используется в строительстве в качестве элемента, предназначенного для усиления конструкций, как правило, выполненных из железобетона.

Одна из современных областей применения стальной арматуры – это армирование внутренних пространств пенополистирольной опалубки (технология «изодом» или «термодом») с последующим бетонированием.

Впервые потребность в арматуре возникла при появлении первых насосных систем. И именно тогда появилась первая строительная арматура. Арматуростроение развивалось параллельно развитию народного хозяйства, для транспортировки которого было просто необходимо усиление его основных конструктивных элементов.

Процесс производства арматуры отличается трудоемкостью. Он проходит под строгим контролем, а при изготовлении соблюдаются требования, указанные в государственных стандартах качества. Благодаря этому изделие отличается высоким качеством и имеет высокие прочностные и эксплуатационные характеристики.

Изготавливается арматура посредством горячей прокатки специальной заготовки, выполненной из круглой стали. При этом сталь, используемая при производстве, имеет периодический профиль. Такая сталь специально предназначена для усиления обычных, а также предварительно напряженных конструкций, изготовленных из железобетона.

В настоящее время строительная арматура имеет четкую классификацию по технологии изготовления (горячекатаная стержневая и холодноотянутая проволочная), по условиям использования в железобетонных конструкциях (ненапрягаемая, напрягаемая), а также по имеющемуся профилю (гладкая и имеющая периодический профиль).

Как мы уже говорили ранее, процесс производства арматуры строительной осуществляется в соответствии с действующими требованиями ГОСТа 5781-82. Данный государственный стандарт качества распространен на круглую сталь периодического, а также круглого профиля, изготовленную посредством горячей прокатки.

При изготовлении строительной арматуры в качестве основного сырья, как правило используются низколегированные, а также углеродистые стали. Выпуск осуществляется в стержнях, длина которых варьируется в пределах от шести до двенадцати метров.

В зависимости от механических свойств арматурная сталь подразделяется на классы от А-1 до А-6. Чем выше класс арматуры, тем выше ее прочность. Арматура класса А-1 является горячекатаной гладкой. Остальные классы арматуры от А-2 и выше представляют собой горячекатаную стержневую арматуру периодического профиля. Горячекатаную стержневую арматуру с целью ее упрочнения можно подвергнуть после проката термомеханической обработке. Классы термически упрочненной арматуры подразделяют на классы: Ат-3, Ат-4, Ат-5, Ат-6, Ат-7.

Операции по изготовлению арматуры на заводах состоят из приемки и транспортирования арматурной стали, правки, чистки и резки, гибки стержней, сварки сеток и каркасов, гибки сеток и каркасов, сборки пространственных каркасов и транспортированию готовых изделий на склад. Склады арматурной стали и готовых изделий располагают в отдельном помещении или под навесом в торце здания. Наиболее распространена агрегатно-поточная технология производства, при которой арматура перемещается от одного поста к другому.

В арматурных цехах обычно предусматривается две линии: изготовления арматуры из стали, поставляемой в бухтах (мотках), и из прутковой стали. Для хранения заготовок предусматриваются стеллажи. Проволока диаметром до 10 мм и сталь периодического профиля диаметром до 9 мм поступает на завод в бухтах, арматурная сталь больших диаметров поставляется прутками длиной от 4 до 12 м, уложенными в бухты массой до 10 т. Готовые сетки для заготовки каркасов поступают плоскими или в рулонах.

Складывать арматурную сталь следует отдельно по ее маркам, диаметрам и длине стержней. С целью уменьшения отходов сталь, которая в последующем должна быть разрезана, сортируют по типоразмерам в зависимости от необходимой длины заготовок. Хранение производится в специальном закры-

том помещении или под навесом, запрещается складирование арматуры на земляной пол. Заготовка арматурной стали, поступающей в бухтах, производится рабочими завода в автоматических станках, которые одновременно разматывают бухты, выпрямляют прутки и режут их на стержни необходимой длины.

Механическое упрочнение стали осуществляют путем волочения, скручивания. При волочении стержень проходит через коническое отверстие и обжимается. Вытяжку арматуры производят усилиями, превышающими предел текучести стали, при этом арматура несколько вытягивается. Способ упрочнения арматуры путем скручивания ее в холодном состоянии вокруг продольной оси оказывается лучшим как в техническом, так и в экономическом отношении по сравнению с другими способами упрочнения арматуры. Механическое упрочнение изменяет структуру металла и способствует повышению предела текучести стали. Предел текучести стали после упрочнения повышается почти на 30%, на столько же можно увеличить напряжение в арматуре железобетона или сэкономить металл, применив стержни меньшего сечения.

Список литературы

1. *Комар А.Г.* Строительные материалы и изделия: Учеб. для инж.-экон. спец. строит. вузов – М.: Высш. школа, 1988. – 527 с.
2. ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия – М., 1983

УДК 621

И. В. Хмельковская, Д. А. Демин

Национальный Технический Университет
«Харьковский Политехнический Институт», Харьков

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

Главный рычаг в эффективности производства – ускорение научно – технического прогресса. Первостепенное значение имеет быстрое обновление производственного аппарата путем широкого внедрения передовой техники. В

связи с этим необходимо сделать большой шаг в автоматизации производства с переходом цехов и предприятий к автоматам, системам автоматического управления и проектированию.

В настоящее время интенсивно разрабатываются высоконадежные устройства и узлы автоматических систем, базирующихся на полупроводниках, магнитных, пневматических и других бесконтактных элементах. Первостепенная задача сегодня - ускорение ввода автоматики в производство с целью улучшения условий труда рабочих. Особенно это касается производств с вредными условиями труда - повышенной запыленностью и загазованностью, что очень свойственно литейным цехам.

Целью этого проекта является практическая разработка системы автоматического управления стержневым автоматом.

Стержневая двухпозиционная карусельная машина модели 4705 работает в пооперационном режиме. Поэтому человек постоянно находится в зоне повышенных температур и запыленности.

Чтобы улучшить условия рабочего труда, в работе были использованы теоретические навыки по основам автоматизации литейных процессов, разработана система автоматического управления стержневой двухпозиционной машиной модели 4705. Разработать систему автоматического управления машиной - это значит провести синтез схемы управления многотактной машиной, разработать релейно - контактную схему, а также схему автоматического управления, созданную на бесконтактных логических элементах.

Разработанный двухпозиционный автомат позволит улучшить условия труда. Созданная система автоматического управления стержневым двухпозиционным автоматом повысит производительность труда, так как практически не будет потерь времени для переключения машины с одной операции на другую, что наблюдается в пооперационном режиме труда.

ГРАНИЦЫ ВЫЛИВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА В КОМБИНИРОВАННОЙ КОКИЛЬНОЙ И ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМАХ

В литературе отсутствуют результаты экспериментов по выливанию жидкого остатка и одновременного замера температуры затвердевания массивных отливок из высокопрочного чугуна, охлаждающихся комбинированных кокильно-песчаных литейных формах. Поэтому исследовали процесс затвердевания и выливания жидкого остатка чугуна, модифицированного железо-кремний-магниевой лигатурой ($Mg \sim 7\%$), из 4 литейных форм, имеющих общую сифонную литниковую систему с тангенциальным подводом питателя в нижнюю песчано-глинистую форму диаметром 350 мм, высотой 330 мм. В верхней части формы устанавливали кокиль диаметром 500 мм и высотой 600 мм.

Общая масса чугуна, заливаемого в формы, составляла 5100 кг, а химический состав, масс. %: C – 3,04; Si – 2,10; Mn – 0,48; P – 0,189; S – 0,010; Cr – 0,35; Ni – 1,08; $Mg_{ост}$ – 0,03. В одной из форм устанавливали 10 хромель-алюмелевых термопар на различном расстоянии от поверхности теплоотвода. Регистрацию температуры в интервале $0...1370^{\circ}C$ обеспечивал многоточечный потенциометр КСП-4.

После заливки чугуна при температуре $1335^{\circ}C$, осуществляли последовательный подъем литейных форм из поддона с помощью мостового крана и выпускание не затвердевшего расплава через 2 мин 25с, 7 мин 40с, 23 мин и 46 мин.

Замер толщины затвердевшего слоя металла при выливании через 2 мин 25с после заливки показал, что по высоте кокильной формы толщина затвердевшего слоя увеличивается с 27 до 30 мм. Это обусловлено тем, что при сифонной заливке в верхнюю часть отливки поступает более "холодный" металл, который теряет теплоту перегрева в литниковой системе, песчаной форме и кокиле. Через 7 мин 40с толщина затвердевшего слоя по высоте кокиля практически выравнивается, а уже через 23 мин фиксируем вновь опережение продвижения фронта затвердевания в верхней части формы. Последнее вызвано повышенным теплоотводом с зеркала металла прибыли, утепление которой сло-

ем древесного угля не обеспечивает направленное затвердевание отливки.

После выливания расплава в кокильной части формы внутренняя часть отливки представляет собой неровную поверхность с многочисленными наростами металла, которые можно сравнить с "холмистой поверхностью". Высота наростов металла незначительно возрастает с течением времени: с 1...4 мм через 2 мин 25с до 1...4,4 мм через 7 мин 40с и 1,9...6 мм через 23 мин. Таким образом, уже на начальных этапах фронт затвердевания не является идеально ровным. Формирование таких макроструктурных "надрезов" может быть одной из причин образования горячих кольцевых трещин в части отливки, охлаждающейся в кокиле. Кроме того, аналогичные "надрезы" в виде не затвердевших участков металла обнаружены в зоне галтели - перехода песчано-глинистой формы к кокилю. Это происходит ввиду замедления затвердевания металла на выступающих частях формы, что также может привести к образованию продольных горячих трещин в части отливки, охлаждающейся в кокиле.

В нижней части отливки, охлаждение которой происходит в песчаной форме, через 2 мин 25с обнаружен слой металла неравномерной толщины. Внутренняя поверхность ее, как и в кокиле, напоминает "холмистую поверхность" с выступами (группами дендритов) округлой формы. Количество таких выступов достигает 900-950 шт/м² на внутренней поверхности образцов с толщиной стенки более 4...5 мм.

После выливания жидкого остатка через 7 мин 40с в нижней части отливки, охлаждающейся в песчано-глинистой форме, **не обнаружено затвердевшего слоя металла**. Его расплавление обусловлено перегревом металла в осевой зоне. Через 23 мин вновь затвердевает слой металла неравномерной толщины. Причем, толщина этого вновь затвердевшего слоя через 2 мин 25с и 23 мин практически одинакова.

Неравномерное по радиусу затвердевание металла в песчано-глинистой форме приводит к формированию на 46 мин теплового узла, который значительно смещен от геометрической оси: минимальная толщина затвердевшего слоя металла с одной из сторон составляет 88 мм, максимальная – 149 мм.

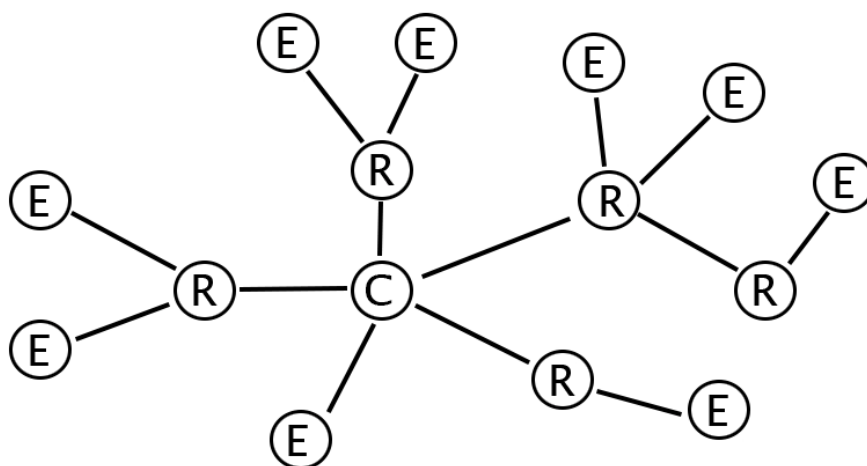
Таким образом, зафиксирована несимметричность процесса затвердевания по радиусу отливок из высокопрочного чугуна в комбинированной кокильной и песчано-глинистой литейной формах. Впервые выявлено расплавление ранее затвердевшего слоя высокопрочного чугуна толщиной 3,5...6,0 мм в песчано-глинистой форме.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКОМОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ СЕНСОРНЫХ И ЛОКАЛЬНО-РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Литейное производство в силу своей специфики по получению отливок из различных сплавов разнообразными технологиями выделяется отрицательным влиянием на окружающую среду выбросами вредных веществ и запыленностью воздуха. При этом с одной стороны современное литейное производство требует применения ресурсосберегающих и экологически чистых технологий производства литья, а с другой – организации эффективного функционирования разветвленной системы контроля экологических показателей на участках литейного цеха и за его пределами. Наиболее важными показателями процесса выбросов вредных веществ от плавильной печи являются пыль неорганическая с содержанием SiO_2 20-70%; диоксид азота (NO_2); серы диоксид (SO_2); оксид углерода (CO) [1].

Актуальной проблемой построения автоматизированных систем экомониторинга литейного производства является организация оперативного сбора и передачи в удаленный сервер предприятия текущих экологических показателей и величин без участия человека, что повышает надёжность и достоверность экомониторинга литейных предприятий. Эффективным способом реализации оперативного и длительного экомониторинга процессов и объектов литейного производства является применение беспроводных сенсорных сетей (БСС) с самоорганизацией передачи пакетов данных [2-4]. На данный момент в области БСС наиболее распространенным стандартом построения сенсорных сетей является стандарт Zigbee [2,3], спецификации которого постоянно обновляются.

ZigBee-устройства при включении питания с помощью встроенного программного обеспечения сами находят друг друга и формируют разветвлённую сеть (рис.1), реализуя соединения «точка-точка», «звезда», «кластерное дерево», «многочейковая сеть».



C – Coordinator, R – Router, E - End device.

Рис. 1. Структура ячейки ZigBee-сети.

Таким образом, эффективным способом организации оперативного мониторинга объектов и процессов литейного производства является применение беспроводных средств сенсорных сетей ZigBee и стандартных средств доступа к ресурсам сетей общего применения, объединенных в единую сеть. Для повышения эффективности работы БСС целесообразно в местах установки АС организовать обработку и кодирование массивов данных, подлежащих передаче по каналам связи [5].

Список литературы

1. Шалевская И. А., Гутько Ю. И. Расчет выбросов загрязняющих веществ в литейном производстве//Металл и литье Украины. – 2011. – №5. –с.22-24.
2. Шахнович Н. В. Современные технологии беспроводной связи, 2 – е изд.: - М.: Техносфера, 2006. – 288с.
3. Гейер Д. Беспроводные сети. Первый шаг: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2005. – 192 с.
4. Shelby Z., Bormann C. GLoWPAN: The Wireless Embedded Internet. – WILEY, 2009. – 223p.
5. Шинский О. И., Шевчук Б. М., Кравченко В. П. Построение эффективных компьютерных сетей дистанционного мониторинга параметров технологических процессов литейного производства//Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2010. – №3(20). – С. 286-290.

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПОЛНИТЕЛЯ НА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

На величину газопроницаемости формовочной смеси в значительной степени влияет гранулометрический состав наполнителя. Кварцевый формовочный песок, как основной наполнитель формовочных и стержневых смесей, состоит из зёрен неправильной формы различных размеров [1]. Поэтому, должна существовать определённая конкретная зависимость связывающая газопроницаемость смесей с гранулометрическим составом песков, соотношением между собой количества зёрен различных фракций наполнителя в объёме смеси. Определив эту зависимость и связав её с другими технологическими свойствами, становится возможным реальное проектирование формовочных и стержневых смесей с наперёд заданными свойствами [2].

Как показывает опыт, наиболее часто используются в качестве наполнителей смесей кварцевые пески групп 016, 020 и 0315 [3]. Для исследования влияния гранулометрического состава на газопроницаемость формовочных смесей применялись предварительно рассеянные фракции кварцевого песка 04, 0315, 020, 016, 01. Пески указанных Фракции смешивались в необходимом соотношении и использовались в качестве наполнителя в составе пластичной песчано-глинистой формовочной смеси. Весь эксперимент строился на основе ЛПт регулярных планов с последующим получением математической модели, описывающей процесс [4]. Задача исследований состояла в практическом определении наличия относительной связи между гранулометрическим составом наполнителя и газопроницаемостью формовочной смеси.

Полученные на основе проведенных исследований математические модели и их анализ после многокритериальной оптимизации, позволил определить характер влияния отдельных фракций наполнителя на газопроницаемость формовочной смеси. Установлено, что наибольшее влияние на газопроницаемость оказывают крупные фракции. При этом нужно учесть, что пылевидные составляющие предварительно удалялись из состава наполнителя. Исследованиями установлено, что на формирование внутренней объемной структуры

формовочной смеси основное влияние оказывают фракции 0315 и 020. Одновременно, можно сделать вывод, что поскольку фракции меньше 016 отрицательно влияют не только на газопроницаемость, но и на другие технологические свойства, присутствие их в составе наполнителя смеси является нежелательным. Использование же песков фракций 04 и крупнее отрицательно влияет на поверхностные свойства формовочной смеси.

На основе проведенных исследований установлены практические зависимости газопроницаемости пластичной формовочной смеси с различными фракциями наполнителя в её составе. Подтверждено существование определённого конкретного соотношения фракций наполнителя смеси различной величины, при котором достигаются оптимальные значения как газопроницаемости, так и других технологических характеристик формовочных смесей.

Список литературы

1. Формовочные материалы и смеси/ *С.П.Дорошенко, В.П.Авдокушин, К.Русин, И.Мацашек*. – К.:Выща шк.: Прага: СНТЛ, изд-во техн. лит., 1990. – 415 с.
2. Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник, *С.С.Жуковский, Г.А.Анисович, Н.И.Давыдов* и др.: Под общ. ред. С.С.Жуковского. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
3. *Жуковский С.С., Ромашкин В.Н.* О «шаровой» модели структуры формовочной смеси // Литейное производство. – 1986. – №3. – С.12-13
4. Устойчивые методы оценивания статистических моделей / *С.Г.Радченко* – К.: ПП «Санспарель», 2005. – 504 с.

УДК 621.74

В.О. Шинский

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

КЛАССИФИКАЦИЯ ПООПЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВДСТВА ОТЛИВОК ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

При реализации новых проектов на основе литья по газифицируемым моделям в действующих производствах взамен литья в песчаные, постоянные формы и литья по выплавляемым моделям следует учитывать, что основная часть технологических переделов и материалов для традиционных ме-

тодов формообразования полностью исключаются, а появляются принципиально новые, которые ранее не использовались при производстве отливок.

В связи с этим целесообразно квалифицировать эти новые технологические процессы и материалы для их реализации. Первоначально следует определиться с материалами и технологиями получения литейных пенополистироловых моделей. Так, технологический процесс получения газифицируемых литейных моделей из полистирола суспензионного вспенивающегося (ПСВ) состоит из следующих этапов: подготовки исходного полистирола; формования конфигурации модели в пресс-формах; вылежки готовых моделей; сборки и/или склейки моделей.

Подготовка исходного полистирола включает предварительное вспенивание полистирола, определяют плотность получаемой из него модели. Предварительное вспенивание происходит в специальной установке при температуре пара 98-115 °С, а время предварительного вспенивания определяется в процессе отработки технологических режимов для каждого типа моделей. Вылеживание гранул предварительно вспененного полистирола необходим для того, чтобы обеспечить его активность при формировании конфигурации модели. В процессе предварительного вспенивания из гранул полистирола удаляется воздух и частично пары изопентана. Для восстановления активности пенополистирола должно произойти выравнивание давления внутри гранул с атмосферным путем проникновения воздуха внутрь гранулы. Изготовление моделей отливок автоклавным способом производится в специальных пресс-формах. Для подачи гранул пенополистирола в рабочую полость пресс-формы используют задувное устройство - эжектор. Спекание моделей производится в установках УИПМ100 и УИПМ100 созданных во ФТИМС НАН Украины, а охлаждение пресс-форм с моделями в ваннах охлаждения. Сборка моделей, состоящих из нескольких частей, а также сборка моделей в модельные блоки производится на специально оборудованных рабочих местах операторами – монтажниками блоков моделей. Готовые модели укладывают на тележки-контейнеры, в которых они подаются вручную к месту хранения-вылеживания.

Технологические параметры изготовления моделей определяются для каждого вида моделей в процессе отработки технологии и зависят от конструкции пресс-формы, параметров теплоносителя, качества и активности применяемого пенополистирола, типа получаемой модели.

Изготовление моделей методом теплового удара с использованием полуавтомата модельного ПМ-5М1 конструкции ООО «ЛГМ-групп» состоит из следующих технологических операций. В начале полистирол требуемой фракции предварительно вспенивается в предвспенивателе в среде перегретого пара. Затем подвспененные гранулы полистирола пневмотранспортом поступают в бункера, где происходит сушка и активация пенополистирола. После вылеживания пенополистирол пневмотранспортом подается в раздаточный бункер полуавтомата модельного ПМ-5М1. Затем из раздаточного бункера пенополистирол с помощью задувных устройств – эжекторов подается в полость пресс-формы ПМ-5М1. Спекание пенополистироловых гранул в модель производится в среде сухого насыщенного пара, подаваемого непосредственно в полость пресс-формы, после чего происходит охлаждение модели путем подачи воды непосредственно в камеру пресс-формы ПМ-5М1. После охлаждения пресс-формы производится ее автоматическое раскрытие и извлечение модели с помощью сжатого воздуха. Готовые модели помещают в специальную тару и с помощью тележек транспортируются на стеллажи для сушки и вылеживания на сутки. Технологические параметры изготовления моделей определяются для каждого вида моделей в процессе отработки технологии и зависят от конструкции пресс-формы, параметров теплоносителя, качества и активности применяемого пенополистирола, типа получаемой модели.

669.15–194:532.528

С. Я. Шипицын, Ю. З. Бабаскин, Т. В. Степанова

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ВИДА УПРОЧНЕНИЯ АУСТЕНИТА Cr – Mn – N-СТАЛЕЙ НА ЕГО КАВИТАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ, МЕХАНИЗМ И СТЕПЕНЬ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Увеличение КПД, надежности и долговечности энергоблоков тепловой и атомной энергетики возможно при переходе на повышенные температуру (до 650 °С) и давление пара (до 350 МПа). Для этого необходимы стали с высоким уровнем длительной прочности и низкой ползучестью, а для запорно-регулирующей арматуры дополнительно с высокой кавитационной и коррозионной стойкостью.

ФТИМС НАН Украины выполнены исследования влияния вида упрочнения аустенита (твердорастворного, дисперсионного и комплексного) на эффективность и механизм деформационного упрочнения и кавитационную стойкость Cr – Mn – N-сталей с устойчивым и склонным к деформационному мартенситному превращению аустенитом. Результаты проведенных работ показали, что кавитационная стойкость сталей с близким уровнем легированности в большей степени определяется механизмом деформационного упрочнения, чем его величиной. Дислокационный механизм деформационного упрочнения приводит к более высокому уровню кавитационной стойкости, чем сдвиговой $\gamma \rightarrow \alpha$ -(ϵ M). При близких величинах деформационного упрочнения дислокационное упрочнение по механизму Орована обеспечивает более однородное, чем двойниковые выделения ϵ -мартенсита, повышение прочности в микрообъемах металла без снижения пластичности за счет торможения деформационных дислокаций дисперсионной, некогерентной, наноразмерной, статистически равномерно распределенной фазой, а также мало- и среднеугловыми границами полигонизованной субструктуры. Полученные результаты показывают перспективность метода дисперсионного упрочнения стабильного аустенита для разработки Cr – Mn – V – N-сталей нового поколения с высоким уровнем кавитационной, коррозионной и теплостойкости для высокотемпературной теплоэнергетики.

УДК 456.261:66-936.7:669.715

В. А. Щерецкий, А. С. Затуловский, А. А. Щерецкий

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ КАРБИДОВ W, Mo И Zr С АЛЮМИНИЕМ

Алюминиевые сплавы хорошо зарекомендовали в качестве недорогого, легкого и прочного материала для авиастроения, автомобилестроения, потребительских товаров и других отраслей промышленности. Усовершенствование методов консолидации порошковых составляющих с применением экструзии и пропитки порошковых частиц, расширение номенклатуры упрочняющих фаз находящихся на поверхности или внутри частиц алюминиевого порошка, может обеспечить новый толчок развитию гетерогенных алюминиевых материалов,

повысить их привлекательность алюмоматричных композиционных материалов, обеспечит возможность получения материалов специального назначения [1].

В работе исследованы особенности армирования алюминиевой матрицы наноразмерными порошками карбидов вольфрама, циркония, молибдена и титана. Установлены температуры взаимодействия карбидов с порошками алюминия и в экструдированных заготовках, до и после плавления матрицы, установлены температуры взаимодействия карбидов с алюминием.

Нанодисперсные частицы Zr, Mo и W получали методом электроискрового диспергирования (ЭИД) в керосине (ТС-1) [2]. Для получения высокодисперсных порошков методом электроискрового диспергирования использовали проволоки чистых металлов (молибдена, титана, циркония и вольфрама) с содержанием примесных элементов не более 0,01. Порошки получали при рабочем напряжении между электродами 160 В и частоте электрических импульсов 100 Гц. Исследование формы и размеров частиц осуществляли с применением сканирующего электронного микроскопа «NeoScope» ISM-5000. Рентгено-фазовый анализ проводили с использованием дифрактометра ДРОН-3.0 с кобальтовым анодом. При помощи термического анализа на приборе STA 449F1 исследовали взаимодействие в микрогранулах состоящих из алюминиевой сердцевины покрытой наноразмерными частицами. Точность измерения температур составляла 1,5 °С.

Для проведения структурного и фазового анализа суспензию нанопорошков в керосине высушивали в сушильном шкафу в потоке воздуха. Высокодисперсные порошки наносили в ультразвуковом поле на алюминиевые частицы сплава марки А7 с последующими сушкой и механической фиксацией, препятствуя их агломерации. Температурные характеристики твердофазного взаимодействия нанодисперсных карбидов с алюминием определяли расшифровкой термограмм дифференциального термического анализа.

Взаимодействие нанодисперсных частиц карбидов молибдена с алюминием проходит в три этапа при $T = 349,6; 488,2; 552,9$ °С.. Взаимодействие нанодисперсных частиц карбида вольфрама с алюминиевой пудрой проходит менее интенсивно, в два этапа при $T = 477,9$ и $507,6$ °С. Взаимодействие наноразмерных частиц циркония фиксировали начиная с мало интенсивного взаимодействия при температуре 348 °С, активно взаимодействие отмечалось при 496 °С.

Интенсивное взаимодействие в исследованных системах наблюдается при температурах выше 450 °С, что позволяет проводить твердофазную консолида-

цию в заданных пределах без взаимодействия и деградации упрочняющих фаз с алюминиевой матрицей. Также с помощью средств электронной микроскопии установили, что при дальнейшем жидкофазном контакте в результате взаимодействия наноразмерных частиц (<100 нм) с алюминием, образующиеся фазы имеют микронные размеры.

Список литературы

Щерецкий В. А., Затуловский С. С. Триботехнические характеристики алюмоматричных композитов с гибридными наполнителями, включающими наноуглеродные структуры // Литейное производство. – 2008. – № 11. – С. 11-14.

Чуистов К. В., Шпак А. П., Перекос А. Е., Рудь А. Д., Уваров В. Н. Малые металлические частицы: способы получения, атомная и электронная структура, магнитные свойства и применение // Успехи физики металлов. – 2003. – Т 4, № 4. – С. 235-270.

УДК 669.0

Г. Эффенберг, М. А. Турчанин

Materials Science International, Штутгарт

Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск

MSI Eureka – ИНТЕРАКТИВНАЯ БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для специалистов, работающих в области создания материалов и разработки новых технологических процессов разработан новый продукт – MSI Eureka (<http://www.msiport.com>), который является интерактивной базой данных о фазовых равновесиях, структуре и свойствах неорганических веществ, включая металлические сплавы (чугуны, стали, сплавы цветных металлов, магнитные материалы, сплавы для электротехники и электроники, медицины и т.д.), неметаллические материалы (керамические материалы, полупроводники, сенсоры и т.д.) и композиционные материалы (композитные сплавы, цементы и т.д.).

База данных MSI Eureka содержит в себе информацию более чем из 334000 литературных источников и представляет сведения более чем по 59000 комбинаций элементов. В ней представлены данные, как по чистым элементам,

так и по двух-, трех- и многокомпонентным системам, вплоть до пятнадцатикомпонентных систем. Информация представлена на различных уровнях, включающих в себя список литературных источников об интересующей системе (Links to Literature), результаты отдельных научных исследований, в том виде, в каком они были приведены в литературе (Research Results и Diagrams as Published), и детальные описания систем (Evaluations), среди которых 155 описаний двойных систем и 3848 описаний тройных систем. База данных постоянно пополняется информацией из современной периодической литературы. Этот гигантский объем информации доступен благодаря глобальным усилиям международной группы ученых, работающих в области строения материалов и представляющих ведущие университеты и лаборатории из 20 стран мира.

**II МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ 2013**

21 – 24 мая 2013 ГОДА

УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ

2013

СОДЕРЖАНИЕ

А. В. Бабенко, Я. В. Стовба, Л. В. Камкина, Р. В. Анкудинов, В. П. Камкин ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ШИХТЫ	226
Б. Ф. Белов, А. И. Троцан, Ф. С. Крейденко, И. Л. Бродецкий СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ	228
В. С. Богушевский, О. С. Абрамова, М. В. Горбачова КОНТРОЛЬ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ В КОНВЕРТЕРЕ В ПРОЦЕССЕ ПРОДУВКИ	230
В. С. Богушевский, Ю. О. Смашнюк, О. В. Шматко. КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В КОНВЕРТЕРЕ	232
В. С. Богушевский, В. Ю. Сухенко, Я. Д. Чернушевич КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В КОНВЕРТЕРЕ В ПРОЦЕССЕ ПРОДУВКИ	234
С. Б. Бойченко, Ю. С. Пройдак, А. Н. Стоянов, Е. В. Синегин, Е. В. Штапура К ВОПРОСУ О ГИДРОДИНАМИКЕ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ	236
А. Г. Величко, С. Б. Бойченко, Ю. С. Пройдак, Б. М. Бойченко БАЛАНС СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ	239
В. Н. Власенко, А. М. Гришин ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКОМКОВАНИЯ И МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ	241
В. Н. Власенко, В. К. Симонов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕРОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ КОМПЛЕКСНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА	243
Ю. А. Гичёв, К. А. Израелян ТЕПЛООБМЕН ГАЗОВОЙ СТРУИ СО СТАЛЕВЫПУСКНЫМ ОТВЕРСТИЕМ В СИСТЕМЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОТСЕЧКИ ШЛАКА	245
Ю. А. Гичёв, К. А. Израелян ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОЙ СТРУИ В УСТРОЙСТВЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОТСЕЧКИ ШЛАКА	247
Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ОПРОБОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА ПРИ РАЗОГРЕВЕ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ	249
Ю. А. Гичёв, К. А. Израелян, О. В. Переверзева ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА ОТХОДЯЩИМ ГАЗОМ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ КОНВЕРТЕРОВ	251
Ю. А. Гичёв, О. В. Переверзева ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ КОНВЕРТЕРНЫМ ГАЗОМ	253
С. М. Григорьев, А. С. Петрищев, А. М. Ковалёв СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ МОЛИБДЕНОСОДЕРЖАЩИХ ЛЕГИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ	255
А. М. Гришин, В. Н. Власенко РОЛЬ $Fe_{мет}$ В ПРОЦЕССЕ ТВЕРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДНОЙ ФАЗЫ	257
С. В. Журавлева, Ю. С. Паниотов, В. С. Мамешин, А. С. Гриценко ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКИХ ФАЗ НА СТЕПЕНЬ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ МЕТАЛЛА В УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ НА АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ	259
Л. Е. Исаева, И. Е. Лев, Н.М. Великонская, А.Г. Безшкуренко ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫПЛАВКИ СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТЬЮ ЗА СЧЕТ БОРА	261
Д. А. Казарін, М. П. Волкотруб, М. І. Прилуцький АЛЮМОТЕРМІЧНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ ФЕРОТИТАНУ З ВМІСТОМ ТИТАНУ 40–43% БЕЗ ДОДАВАННЯ ТИТАНОВИХ ВІДХОДІВ	263
Л. В. Камкина, Я. В. Стовба, Н. А. Колбин, А. П. Мешалкин, Р. В. Анкудинов. ВЫБОР УГЛЕРОДИСТЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ	265
Н. А. Колбин, Ю. И. Сокур, Л. Ю. Колодяжная, А. В. Боченкова ПОВЕДЕНИЕ СЕРЫ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ	267
Ф. Л. Леоха, А. Д. Рябцев, С. Н. Ратиев, А. А. Грицюк ЛЕГИРОВАНИЕ ТИТАНА КИСЛОРОДОМ И УГЛЕРОДОМ ПРИ КАМЕРНОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПЕРЕПЛАВЕ	269
С. М. Лупинос, Д. В. Прутцков О МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ	271
А. П. Мешалкин, Л. В. Камкина, А. Г. Безшкуренко, А. Н. Бабенко, Ю. И. Сокур ВОССТАНОВИТЕЛЬНО – ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ	273
А. П. Мешалкин, С. В. Пшигоцкий, Л. В. Камкина ХОЛОДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ВЗАИМО-	275

ДЕЙСТВИЯ СТРУЙ ГАЗА С ЖИДКОЙ ВАННОЙ	
К. Г. Низяев, Л. С. Молчанов, Б. М. Бойченко, А. Н. Стоянов, Е. В. Синегин	
РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВВОДА АКТИВНЫХ РЕАГЕНТОВ В РАСПЛАВ	277
В. В. Перескока, А. П. Мешалкин, Л. В. Камкина, Ю. Д. Стогний, Н. А. Колбин	
ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ МЕТАЛЛУРГИИ И НЕКОТОРЫЕ РЕШЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	279
Ю. С. Пройдак, И. В. Деревянченко, Л. В. Камкина, А. П. Стовпченко, А. Г. Безшкуренко, Ю. Н. Грищенко	
ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАЗЛИВАЕМОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА МНЛЗ	281
Е. В. Синегин, Б. М. Бойченко, В. Г. Герасименко, Л. С. Молчанов	
ОБОСНОВАНИЕ ЧИСЕЛ ПОДОБИЯ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОХОЛОДИЛЬНИКОВ С ЖИДКИМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ РАСПЛАВАМИ В ПРЕДКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЙ ПЕРИОД	283
Ю. И. Сокур, В. И. Шатоха, Л. В. Камкина, Р. В. Анкудинов, В. Ю. Камкин	
УТИЛИЗАЦИЯ ЖЕЛЕЗА КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАКОВ ПРИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ВОДОРОДА	285
О. В. Соценко, Б. Б. Бобров, Д. С. Волгин, В. М. Орлова	
КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ДОМЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ И ШЛАКОВОЗНЫХ ЧАШ	287
Я. В. Стомба, Л. В. Камкина, Р. В. Анкудинов	
МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ШИХТЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МАРГАНЦЕВОГО АГЛОМЕРАТА	289
Е. С. Титова	
ТЕХНОЛОГИИ ВНЕДОМЕННОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА В ПРАКТИКЕ СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ КИТАЯ	291
Т. М. Титова, В. П. Полетаев, М. С. Бешкенадзе	
ВНЕДОМЕННАЯ ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ ЧУГУНА В СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ ВЕДУЩИХ МИРОВЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕТАЛЛОПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ	293
А. Г. Чернятевич, А. С. Грищенко	
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДУТЬЕВОГО РЕЖИМА КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ	295
А. Г. Чернятевич, А. С. Грищенко, С. Є. Ганжа	
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАКОНЕЧНИКА КИСНЕВОЇ ФУРМИ З ЦЕНТРАЛЬНИМ ПІДВЕДЕННЯМ ВОДИ	297
А. М. Верховлюк, А. А. Безпалый, Ю. М. Левченко, О. В. Желєзняк	
ДОСЛІДЖЕННЯ МІЖФАЗНОЇ ВЗАЄМОДІЇ РОЗПЛАВІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ З ВОГНЕТРИВКИМИ МАТЕРІАЛАМИ	299
Ю. Н. Левченко, А. В. Железняк, Л. Д. Таранухина	
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ЛИГАТУР	300
Н. И. Тарасевич, И. В. Корниец, А. И. Рыбицкий, О. О. Токарева	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СЛИТКОВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ПОЛУЧАЕМОГО В ТОНКОСТЕННОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ КОКИЛЕ	301
Фесенко М. А., Фесенко А. Н., Хомутова О. С.	
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКОГО ЧУГУНА	304

А. В. Бабенко, Я. В. Стомба, Л. В. Камкина, Р. В. Анкудинов, В. П. Камкин
Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ШИХТЫ

В процессах обогащения руд и в процессах их дальнейшей переработки при получении металлов и сплавов обычно в качестве факторов интенсификации технологии используется температура и давление, механическое или химическое диспергирование веществ, катализ. Со середины прошлого века формируется новый компонент технологии – механическая активация вещества, в том числе активация большой механической энергией. Реакционная способность железорудных минералов во многом зависит от совершенства их структуры и дефектов кристаллической решетки. Одним из эффективных методов создания дефектного состояния в твердых телах является активационное измельчение, состоящее в диспергировании веществ при механических усилиях. Практические аспекты активационного измельчения были обозначены еще в ранних работах П.А. Ребиндера – основоположника физико- химической механики, которым установлены аномальные физические и химические свойства твердых тел, в частности кварца в тонкодисперсном состоянии. В дальнейшем в своих работах Г.С. Ходаков экспериментально показал связь реакционной способности и, прежде всего, химической активности минералов с аморфизацией структуры, создаваемой механическими воздействиями. Кварц в указанных работах был выбран не только как информативный объект изучения дефектообразования, но и многоцелевой минерал, находящий широкое применение в индустрии. Другие минеральные вещества как объекты механоактивации были исследованы значительно меньше. Особый интерес представляет механическая активация твердых тел и реакций с их участием, так как установлено, что часть механической энергии, подведенной к твердому телу, во время активации, усваивается им в виде новой поверхности, линейных и точечных дефектов. Кроме того, известно, что химические свойства кристаллов определяются наличием в них дефектов, их природой и концентрацией.

Железорудные офлюсованные шихты, представленные многокомпонентной дисперсной системой, включающей оксиды железа, кремния, кальция, магния, алюминия, обладают значительной избыточной поверхностной энергией и

градиентами концентрации по объему, что при существующих режимах термической обработки создает условия для протекания реакций в твердой фазе. Шихтовые материалы, используемые для производства агломерата, содержат различные дефекты, которые определяют их химическую активность и физические свойства. Эти структурные дефекты образуются в процессе роста кристаллов или при дроблении (измельчении) для получения заданного гранулометрического состава шихтовых материалов. Различие в количестве структурных дефектов определяет параметры процесса агломерации и качество агломерата. С термодинамической точки зрения, изменение величины поверхности зерен в результате измельчения осуществляется за счет увеличения расхода энергии, которая затем реализуется в процессе агломерации.

Анализ вероятных твердофазных соединений показывает, что они образуются в результате реакций между железосодержащими оксидами, пустой породой спекаемых материалов, флюсующими добавками. Число контактов между этими оксидами, является наиболее существенным фактором, определяющим выход продукта в результате реакций в твердой фазе. Химическое сродство реагирующих веществ в данном случае является необходимым условием. Из всего многообразия реакций в сложной системе аглошихты, рассмотрены реакции образования силикатов кальция, ферритов кальция, силикатов железа и железокальциевых оливинов. Из рассмотренных реакций, которые могут протекать в смеси шихтовых материалов, наиболее вероятной является реакция образования однокальциевого феррита и двухкальциевого силиката. Это объясняется наличием большого числа контактов между оксидами кальция и железа. Образование в твердой фазе железокальциевых оливинов и фаялита маловероятно. Принимая во внимание высокую скорость образования ферритов кальция в твердой фазе, при агломерации и обжиге окатышей возможно использовать предварительное совместное измельчение гематитсодержащих и известьсодержащих материалов. Ферритная смесь вводится в шихту в качестве отдельного компонента. Совместное измельчение привело к активации физико-химических процессов при нагреве опытной шихты. При спекании агломерата с активированной ферритной смесью ферритообразование происходит при более низких температурах и в более полном объеме. Таким образом, активация реакций в твердых фазах играет значительную роль в упрочнении готового агломерата и определяют развитие жидкофазного спекания, конечный минералогический состав агломерата и его металлургические свойства.

СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

Кислородно-конвертерный процесс является основным способом массового производства конструкционных сталей и постоянно совершенствуется для повышения производительности и качества металла. Однако, описывающая его теория металлургических процессов, основанная на химической термодинамике и кинетике равновесных систем, не позволяет достаточно адекватно выполнить физико-химический анализ формирования плавильных и ковшевых шлаков, образования неметаллических включений при рафинировании железоуглеродистых расплавов и, следовательно, прогнозировать и оптимизировать эффективность технологий печной и ковшевой обработки стали. Кроме того, эта теория не рассматривает наноструктурные и химические аспекты образования и существования металлургических фаз в значительной степени определяющих уровень качества стали.

В настоящей работе современные проблемы теории металлургических шлаков исследованы на основе феноменологической теории строения металлургических фаз в жидком и твердом состоянии по модели гармонических структур вещества (теория МГС-фаз), к основным положениям которых, в частности, относятся следующие:

- металлургические системы относятся к открытым системам с обменом энергии (тепла) и вещества с окружающей атмосферой;
- технологические операции сталеварения являются стохастическими системами и описываются по вероятностным законам, позволяющим прогнозировать расходные коэффициенты присадочных материалов и степень рафинирования железоуглеродистых расплавов с помощью последовательного ряда структурно-химических реакций и уравнений материального баланса технологического процесса;
- металлургические шлаки в жидком состоянии являются ассоциатами определенного состава, существующие в заданном температурном интервале;
- наноструктурный анализ компонентов металлургических шлаков основан на существовании разноупорядоченных разномерных элементов - струк-

турных ионно-молекулярных комплексов (СИМ-комплексов), представляющих собой трехмерные полиэдрические ячейки (ПДЯ), двухмерные полигональные ячейки (ПГЯ) и статистически разупорядоченные моно-нульмерные структуры (СРС);

- структурно-химическое состояние металлургических шлаков определяется на полигональных диаграммах состояний, построенных новым графо-аналитическим методом во всем интервале концентраций твердых и жидких исходных компонентов.

Для изучения структурно-химического состояния металлургических шлаков были построены полигональные диаграммы состояния (ПДС) тройной системы $\text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ и ее базовые двойные системы $\text{FeO} - \text{SiO}_2$, $\text{FeO} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, а также квазибинарные системы, определяющие физико-химические свойства тройных фаз: $\text{FeO} - \text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$, $\text{SiO}_2 - 2\text{FeOAl}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{FeOSiO}_2$.

Структурно-химический анализ полигональных диаграмм состояния позволил на базе первичных данных о природе исходных компонентов изучить структурно-химические взаимодействия между ними и определить условия образования стабильных и метастабильных промежуточных фаз. На основе ПДС тройных систем была получена информация о химическом составе и химических реакциях образования тройных фаз. На дополнительно построенных квазибинарных диаграммах состояния были определены температуры образования и плавления, область гомогенности и термическая стабильность этих фаз, фазовые и химические превращения.

На основании анализа молекулярных и кристаллических структур промежуточных фаз были определены условия перехода их в активированные состояния и составлены структурно-химические реакции адсорбции примесных элементов, рассчитаны адсорбционная емкость к примесным элементам и изучен механизм рафинирования металлических расплавов.

Результаты проведенных исследований, подтвержденные опытно - промышленными экспериментами, дают возможность разрабатывать оптимальные составы шлаков с максимальной эвтектичностью и заданной степенью структурно-химического разупорядочения, что обеспечивает значительное (в 1,3 - 1,6 раз) повышение их адсорбционной емкости к вредным примесям и неметаллическим включениям.

В. С. Богушевский, О. С. Абрамова, М. В. Горбачова
 Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев

КОНТРОЛЬ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ В КОНВЕРТЕРЕ В ПРОЦЕССЕ ПРОДУВКИ

Введение. Для управления продувкой конвертерной плавки необходима информация о содержании углерода и температуры ванны. Разовые замеры этих параметров погружными зондами являются доминирующим методом контроля этих параметров в конвертере, хотя непрерывное измерение их более предпочтительно с точки зрения управления процессом.

Постановка задачи. Исследовать возможность непрерывного контроля содержания углерода и температуры ванны в процессе продувки конвертера косвенным методом.

Результаты исследований. Так как окислительный и тепловой режимы в ванне конвертера тесно связаны друг с другом разработано устройство одновременного определения содержания углерода и температуры ванны по характеру газовыделения из ванны конвертера. Характер газовыделения контролировался по изменению давления газов в верхней части опускаемого газохода.

Текущее состояние газовыделения определяется интенсивностью подачи дутья содержания углерода в ванне конвертера и ее температурой

$$\alpha_1 P_1 / v = \alpha_2 C + \alpha_3 t + \alpha_0, \quad (1)$$

где P_1 – величина давления газов в верхней части опускаемого газохода, Па; C и t – содержание углерода и температура ванны, $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты.

Присадки охлаждающих и шлакообразующих материалов вызывают повышение интенсивности газовыделения, причем интеграл этого повышения определяется температурой ванны и содержанием углерода в ней

$$\frac{\int_0^{\tau_k} \Delta P d\tau}{vm_{\Pi}} = \alpha_4 C + \alpha_5 t + \alpha_6, \quad (2)$$

где ΔP – приращение величины давления газов в момент дачи присадки, Па;
 v – интенсивность подачи дутья, м³/мин; m_{Π} – масса присадки, кг;

τ_k – продолжительность времени от момента ввода присадки до достижения величины давления газов, соответствующей первоначальной, (т.е. P_1), с; $\alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ – коэффициенты.

В случае невозможности ввода охлаждающих материалов по технологическим соображениям, для определения содержания углерода и температуры ванны используют кратковременное изменение интенсивности подачи дутья

$$\Delta(P/v) = \alpha_7 C + \alpha_8 t + \alpha_9. \quad (3)$$

Решая уравнение (1) совместно с (2) или (3), определяем содержание углерода и температуру ванны в момент проведения возмущения (рис.)

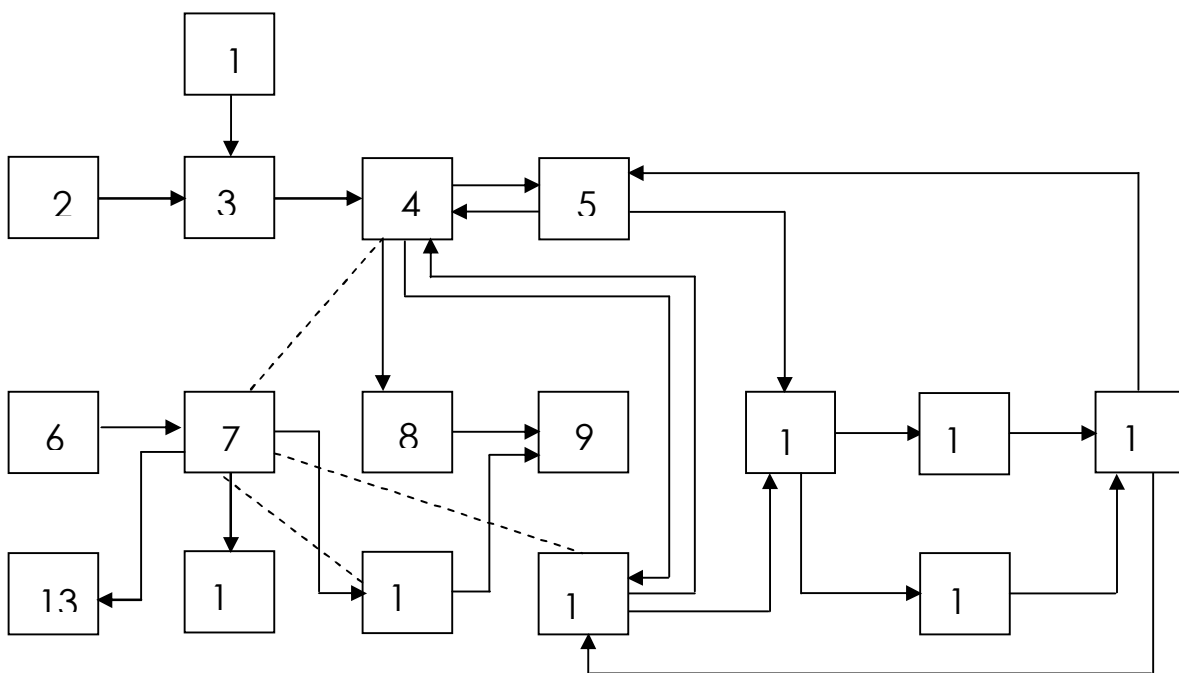


Рис. Блок-схема устройства для определения содержания углерода и температуры в ванне конвертера:

1 – блок измерения интенсивности подачи дутья; 2 – блок измерения интенсивности газовыделения; 3, 9 – блоки деления; 4 – переключатель рода работ; 5 – блок фиксации величины удельной интенсивности газовыделения; 6 – блок расчета шихты; 7 – командоаппарат; 8 – интегратор; 10 – блок указания содержания углерода; 11, 17 – настроечные блоки; 12 – блок указания температуры; 13 – механизм управления интенсивностью продувки; 14 – механизм управления подачей шлакообразующих и охлаждающих материалов; 15 – блок определения массы добавок; 16 – переключатель возмущающего воздействия.

КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В КОНВЕРТЕРЕ

Введение. Известен ряд методов для контроля содержания углерода в процессе продувки металла кислородом в сталеплавильном агрегате. Наиболее распространенным из них является метод по контролю состава отходящих газов. При всей теоретической простоте метода при его реализации возникают проблемы как точного измерения количества отходящих из конвертера газов в месте отбора их на анализ, так и временного согласования результатов измерений состава и количества отходящих газов. В результате это снижает точность контроля содержания углерода.

Постановка задачи. Цель исследований – повышение точности контроля содержания углерода в сталеплавильном агрегате.

Результаты исследований. Скорость распространения ультразвука в жидкости определяется по формуле

$$v = \sqrt{E/\rho}, \quad (1)$$

где v – скорость распространения ультразвука, м/с; E – модуль объемной упругости жидкости, г/м · с²; ρ – плотность жидкости, г/м³.

С изменением температуры изменяется и скорость прохождения ультразвуковых волн в жидкости в соответствии с температурным коэффициентом скорости. Отсюда

$$v = \sqrt{E/\rho} + f(\gamma, t), \quad (2)$$

где γ – температурный коэффициент скорости ультразвука, м/с; t – температура жидкости, °С.

Для упрощения результирующего уравнения связь между изменением температуры и скоростью распространения ультразвуковых волн в жидкости для диапазона изменения температур в сталеплавильной печи (1200 – 1700 °С) представим в линейном виде

$$v = \sqrt{E/\rho} + \gamma(t - t_k), \quad (3)$$

где t_k – температура кристаллизации жидкости, °С.

Модуль объемной упругости – величина, обратно пропорциональная

коэффициенту сжимаемости жидкого металла, в процессе продувки ванны кислородом в результате наличия в нем газовых пузырей зависит от их количества в объеме металла, определяющем уровень расплава, и, в конечном итоге, от скорости обезуглероживания. Связь между уровнем металла и скоростью обезуглероживания представим выражением:

$$E = 1/\chi = 1/(\alpha_0 + \alpha_1 v_c^{0,7}), \quad (4)$$

где χ – коэффициент сжимаемости жидкости, $\text{м} \cdot \text{с}^2/\text{г}$; α_0, α_1 – коэффициенты, v_c – скорость обезуглероживания металла, $\%/ \text{мин}$.

Температуру кристаллизации металла представляем в виде

$$t_k = \alpha_2 + \alpha_3 C, \quad (5)$$

где α_2, α_3 – коэффициенты; C – содержание углерода в ванне жидкого металла.

Скорость распространения звука может быть измерена как отношение расстояния, проходимого звуком, ко времени прохождения этого расстояния

$$v = L/\Delta\tau, \quad (6)$$

где L – расстояние, проходимое звуком, м ; $\Delta\tau$ – продолжительность времени прохождения ультразвуковыми колебаниями через ванну пути, равного L , с .

Рассматривая выражения (3 – 6) совместно получаем:

$$t = \beta_0 + \frac{\beta_1}{\Delta\tau} - \sqrt{\frac{\beta_2}{\beta_3 + \beta_4 v_c^{0,7}}} + \beta_5 C, \quad (7)$$

где $\beta_0 - \beta_5$ – коэффициенты.

С другой стороны, температуру ванны можно определить по тепловому потоку на фурму

$$t = \beta_6 q + \beta_7 v_c + \beta_8, \quad (8)$$

где q – тепловой поток на фурму, кВт ; $\beta_6 - \beta_8$ – коэффициенты.

Решая совместно уравнения (7) и (8), получаем выражение для определения скорости обезуглероживания

$$\gamma_0 + \frac{\gamma_1}{\Delta\tau} + \gamma_2 q - \sqrt{\frac{\gamma_3}{\gamma_4 + \gamma_5 v_c^{0,7}}} + \gamma_6 v_c + \gamma_7 C = 0, \quad (9)$$

где $\gamma_0 - \gamma_7$ – коэффициенты.

Опробование метода показало, что среднеквадратическая ошибка контроля содержания углерода по сравнению с разовыми замерами составила 0,038 %, существенно уменьшаясь к концу продувки.

В. С. Богушевский, В. Ю. Сухенко, Я. Д. Чернушевич
Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В КОНВЕРТЕРЕ В ПРОЦЕССЕ ПРОДУВКИ

Введение. Разовые замеры температуры металла термопарами погружения являются доминирующим методом контролю температуры в сталеплавильных агрегатах [1, 2]. Непрерывное измерение температуры более предпочтительно с точки зрения управления процессом. При этом долговечность измерительного устройства определяется главным образом стойкостью керамического наконечника, который защищает горячий спай от разрушения в жидком металле.

Постановка задачи. Исследовать возможность непрерывного контроля температуры ванны в процессе продувки конвертера косвенным методом.

Результаты исследований. В основе метода лежит определение тока термоэлектродной эмиссии с поверхности расплавленного металла, величина которого связана с температурой металло-шлаковой эмульсии и работой выхода электронов. Измерение токов проводимости в режиме насыщения между электродом, находящимся над конвертером, и металлом при равных положительных и отрицательном напряжении на электроде позволяет определить ток термоэмиссии с поверхности металла, а измерение контактной разности потенциалов между электродом и металлом позволяет определить работу выхода электронов с поверхности металла во время продувки.

Электрический ток в факеле кислородного конвертера обусловлен наличием в нем ионов и электронов. Ввиду более низкой подвижности ионов по сравнению с электронами ток проводимости в режиме насыщения ограничивается ионной составляющей тока плазмы.

При отрицательном относительно ванны напряжении на электроде ток насыщения равен

$$I_1 = 2S_{\text{э}}j_{\text{и}}, \quad (1)$$

где I_1 – ток насыщения при отрицательном напряжении на электроде, А; $S_{\text{э}}$ – площадь эмитирующей поверхности электрода, определяемая его геометрией, м²; $j_{\text{и}}$ – плотность ионного тока, А/м².

При положительном напряжении на электроде происходит кажущееся увеличение ионного тока на величину тока термоэмиссии с поверхности металла

$$I_2 = 2[(S_M + S_x)j_{\text{и}} + S_M j_T], \quad (2)$$

где I_2 – ток насыщения при положительном напряжении на электроде, А; S_M – площадь эмитирующей поверхности металла, определяемая геометрией конвертера, м²; S_x – площадь холодной (неэмитирующей) поверхности, электрически контактирующей с эмитирующей поверхностью, определяемая конструкцией конвертера и местом расположения электрода, м²; j_T – плотность термоэмиссионного тока, А/м².

Поверхностная плотность термоэмиссионного тока насыщения определяется температурой металла и работой выхода эмиттера из соотношения Ричардсона-Дешмана

$$j_T = \alpha_0 T^2 \cdot \exp[-A/(kT)], \quad (3)$$

где α_0 – ричардсоновская термоэлектрическая постоянная, А/(м² · К²); T – температура металла, К; A – работа выхода электронов из металла, Дж; k – постоянная Больцмана, Дж/К

С учетом соотношений (1) – (3) находят температуру металла из выражения

$$\alpha_0 T^2 \cdot \exp[-A/(kT)] = \frac{I_2}{2S_M} - \left(\frac{1}{2S_M} - \frac{S_x}{2S_M S_3} \right) I_1. \quad (4)$$

Выводы. Непрерывное определение тока термоэлектродной эмиссии с поверхности расплавленного металла позволяет контролировать его температуру в процессе продувки.

Список литературы

1. Чернега, Д. Ф. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський та ін.; За ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
2. Богушевський В.С., Сергеева К.О. Методи вимірювання температури сталі у конвертері К.О. Сергеева // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки», – 2011 – випуск № 33 – С. 31 – 33.

К ВОПРОСУ О ГИДРОДИНАМИКЕ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ ПРИ НЕ- ПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ

Ранее авторы установили, что для флокеночувствительной стали целесообразна достаточно интенсивная продувка ее в промежуточном ковше (промковше) МНЛЗ нейтральным газом для десорбции водорода, но не настолько высокая, которая может приводить к вовлечению неметаллических включений из шлаковой фазы в нисходящие потоки чрезмерно турбулизированной жидкой ванны [1]. Настоящий анализ посвящен установлению верхнего предела интенсификации продувки жидкого металла аргонem в промковше, позволяющего достичь обеих указанных целей.

Из трех стадий процесса укрупнения неметаллических включений: сближение частичек до расстояний порядка 0,01-0,001 мкм, прорыв разделительной пленки металла и слияние или слипание – в качестве лимитирующей стадии определена вторая, которая непосредственно зависит от интенсивности циркуляции. Поэтому интенсивность укрупнения частичек, а, значит, и скорость их удаления зависит от интенсивности циркуляции.

При продувке металла в промковше нейтральным газом существуют два пути, по которым осуществляется снижение содержания неметаллических включений:

- массопоток включений, которые выносятся к поверхности раздела металл-шлак циркуляционным потоком, вызванным естественной или принудительной конвекцией;
- массопоток включений, что выносятся к поверхности раздела металл-шлак флотацией.

В любом из представленных случаев необходимым условием для удаления неметаллических включений является наличие достаточной инерции частички для достижения поверхности шлака при ее движении в циркуляционном потоке или совместно с флотируемым пузырем. Величину инерции частички, необходимую для достижения заданной поверхности, критериально определяет критическая величина числа Стокса:

$$Stk = \frac{\omega \rho a^2}{\eta_{жс} R}, \quad (1)$$

где ω – скорость потока, м/с; ρ – плотность частички, кг/м³; a – диаметр частички, м; R – радиус газового пузыря или изгибающегося циркуляционного контура, м.

При чрезмерно интенсивном перемешивании частички шлака могут эмульгировать в металл, вызывая повышение содержания в нем неметаллических включений. В общем случае эмульгирование шлака в металл вероятно при выполнении условия:

$$\eta_2 \leq \eta_1 (\rho_1 / \rho_2)^5 \quad (2)$$

где η и ρ соответственно динамическая вязкость и плотность; индекс 2 относится к шлаковой фазе, 1 – к металлической. Выражение (2) подтверждает динамическую вероятность эмульгирования шлака в металл.

На основе проведенного анализа выполнено моделирование диспергирования шлака в металл и удаления неметаллических включений при продувке металла в промковше через дно.

Подобие процессов в промышленном образце и модели обеспечивали соблюдением одинаковых величин безразмерного числа Стокса $Stk = idem$ и симплекса поверхностного натяжения $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = idem$.

Из соотношения поверхностных натяжений в симплексе подобраны жидкости, которые наиболее подходят для моделирования. Сталь имитировали водой, шлак-бензолом (C₆H₆) марки ПС по ГОСТ 9572-93. По характеру смачивания этими жидкостями неметаллических включений определен имитатор включений – тонкодисперсный графит. Подачу нейтрального газа моделировали использованием воздуха.

Моделирование процессов, провели в физической изотермической модели промковша, изготовленной в масштабе 1:10 в соответствии с линейными размерами прототипа емкостью 38 т по критерию подобия Фруда (Fr).

Для разных соотношения толщины бензола в модели $h'_{ул}$ и уровня воды $h'_м$ проводили ряд продувок длительностью 10 мин. (то есть в резидентное время) с разной интенсивностью подачи дутья. Минимальный расход газа Q составлял 0,53 дм³/мин., максимальный ограничивался образованием всплесков на поверхности жидкости, что сопровождалось интенсивным разбрызгиванием.

Параметром, определяющим степень эмульгирования, служили максимальные глубины проникновения капель бензола диаметром более 3 мм и пребывания графита в воде, которую контролировали видеосъемкой.

При достижении в ходе экспериментов расхода газа уровня 1,05 дм³/мин. наблюдали первые отделения капель бензола, которые проникали в воду на величину, большую амплитуды волны.

При интенсивности продувки более 15 дм³/мин. на поверхности модели в месте выхода газа происходило оттеснение бензола с графитом и оголение поверхности воды.

С ростом интенсивности продувки до величины 60 дм³/мин. происходит увеличение глубины проникновения частичек бензола и графита в воду. При дальнейшем увеличении интенсивности продувки заметного повышения глубины пребывания частичек бензола и графита не происходит.

При обработке отснятого материала установлено, что частички графита и бензола, диспергированные до размеров, меньших 3 мм, легко заносились потоками вглубь модели при расходе газа более 20 дм³/мин. и свободно двигались до прекращения продувки.

Найдено, что с ростом интенсивности продувки до величины 35 дм³/мин. происходит значительное увеличение длительности всплывания диспергированных частичек бензола и графита. Зависимость длительности всплывания всех диспергированных частичек в воде t , с от интенсивности продувки Q , дм³/мин описывается логарифмической зависимостью.

$$t = 15,67 \ln Q - 6,7, \text{ с, } (R^2 = 0,945) \quad (3)$$

Исследования показали, что для стабильного получения очищенной от диспергированных частичек жидкости величина t должна быть на 20-25% менее резидентного времени.

Список литературы

1. Бойченко С.Б. Механизм и кинетика процессов, определяющих содержание водорода в стали в промежуточном ковше МНЛЗ / С.Б. Бойченко, Ю.С. Пройдак, Б.М. Бойченко // Процессы литья – 2013, № 3 – С. 29-32.

А. Г. Величко, С. Б. Бойченко, Ю. С. Пройдак, Б. М. Бойченко
 Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск;
 Днепропетровский опытно-инструментальный завод

БАЛАНС СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ

Процессы в промежуточном ковше машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) значительно влияют на качество жидкой стали, поскольку являются завершающими и непосредственно за ними следует ее кристаллизация.

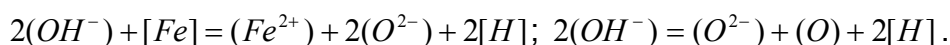
Актуальность работы вызвана обнаруженным авторами настоящей статьи повышением содержания водорода в сталях в производственных условиях после их пребывания в промежуточном ковше (промковше) существенно выше допустимого для флокеночувствительных хромомарганцевых сталей уровня 2,0 ppm, особенно, на первых 3 - 4 плавках непрерывной серии.

Водород в футеровочных материалах ковша, шлаковых составляющих, продуктах сгорания обогревающего газа содержится в растворенном состоянии, порах и капиллярах в виде влаги (свободной и химически связанной).

В зоне контакта с этими материалами происходит взаимодействие жидкого металла с влагой по реакциям:



Основные шлаки хорошо растворяют водяной пар по реакции $\{H_2O\} + (O^{2-}) = 2(OH^-)$ и способны передавать водород металлу:



По Сивертсу равновесная концентрация водорода в жидком железе $[H]$ составляет, ppm: $[H] = K_H \sqrt{P_{H_2} \cdot 10^9}$, где P_{H_2} - парциальное давление водорода в газовой фазе на границе с металлом, МПа; K_H - константа растворимости водорода в жидком железе, определяется уравнением Чипмена: $\lg K_H = -\frac{1670}{T} - 1,68$.

При высокой температуре, малом содержании кислорода в стали парциальное давление водорода $P_{H_2} \approx P_{H_2O}$.

Расчеты показали, что в связи с возрастанием в 8500 раз давления водяных паров при их испарении и нагреве в порах и капиллярах материалов до

температуры жидкой стали поступление водорода в нее из футеровки ковша и шлаковых составляющих является основным источником возрастания [H].

Поглощение водорода сталью в промковше происходит также вследствие растворения водяного пара на поверхности шлаковых частиц и неметаллических включений, увлекаемых потоками вниз в результате чрезмерно интенсивной их циркуляции, поскольку над жидкими фазами находится обычная воздушная атмосфера даже при наличии крышки ковша.

Процесс десорбции водорода из жидкой стали является многостадийным процессом, однако известно, что он лимитируется диффузионно-адсорбционной стадией, которая описывается кинетическим уравнением первого порядка: $dc/d\tau = k(F/V)(c - c_{\text{нов}})$, где τ – время, с; $(c - c_{\text{нов}})$ – градиент концентраций в данный момент и равновесной с газовой фазой; k – коэффициент массопереноса водорода, м/с; F/V – отношение поверхности металла, контактирующей с газом, к его объему, м⁻¹.

В распространенных сегодня промковшах имеют место потоки, характеризующиеся малыми величинами сомножителей (F/V) и $k=D/\delta$ (где D – коэффициент диффузии, м²/с, δ – толщина пограничного неперемешиваемого слоя металла, м). Возможности дегазации стали невелики в сравнении с описанным потенциалом приходной части баланса водорода. В производственных экспериментах обнаружено, что [H] в промковше возрастает с 0,5 ppm (после вакуумирования) до 3-5 ppm и более на первых 3 - 4 плавках разливки методом «плавка на плавку».

Для стабильного получения металлопродукции нужного качества сталь в промковше целесообразно продувать через дно аргоном, что одновременно совпадает с современными тенденциями очищения стали от неметаллических включений.

Удельный расход аргона должен быть расчетным. Нижний его предел обеспечивает необходимую степень очищения стали от водорода и неметаллических включений, верхний – еще исключает вовлечение их из шлаковой фазы в металл усиливающимися нисходящими потоками.

Дальнейшие возможности промежуточного ковша по дегазации стали заложены почти в 10 раз большей водородопоглощаемости основных шлаков, чем тех же масс металла. При нейтральной газовой атмосфере целесообразно ограниченное расчетное обновление состава шлака в промковше в течение не-

прерывной серии спуском его части и вводом свежих порций CaO , которые не являются серьезным усложнением технологии непрерывной разливки стали.

УДК 669.094.1:22:66.042

В. Н. Власенко, А. М. Гришин

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКОМКОВАНИЯ И МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ

Прямое получение железа для последующего передела в сталь как альтернатива доменному процессу имеет существенные преимущества, а именно: расширение ресурсов металлической шихты высокой степени чистоты и стабильного химического состава; возможность рационального использования топливно-энергетических запасов, в том числе некоксуемых углей и природного газа; возможность постройки мини-заводов.

Среди различных вариантов внедоменного получения железа наиболее эффективными являются способы, основанные на процессах металлизации железорудного сырья при умеренных температурах (без плавления) с использованием недефицитных газообразных и твердых восстановителей. В то же время вовлечение в передел железосодержащих отходов металлургического производства в качестве эффективного заменителя железорудного сырья является одной из важнейших задач ресурсосбережения в нынешней экономической ситуации.

В связи с изложенным в настоящей работе изучены физико-химические свойства и характеристики комкуемости дисперсных железосодержащих шламов: аглодоменного шлама Днепропетровского металлургического комбината (ДМК) и шлама завода им. Петровского (ДЗП). Последний являлся совокупным отходом различных металлургических цехов этого предприятия. Общее содержание железа в шламах находилось на уровне 48–50%, а углерода – 15,5 и 8,0 %, соответственно. Исследованы процессы окомкования шламов как самостоятельно, так и с добавками известняка, а также углеродистого отхода – пиролигнина, который получали путем тепловой обработки лигнина Запорожского гидролизно-дрожжевого завода при температуре 800^oC без доступа воздуха.

Осуществлен упрочняющий обжиг офлюсованных и неофлюсованных окатышей и определены оптимальные условия его организации в нейтральной газовой среде: продолжительность - 30 мин; температурный уровень для неофлюсованных шихт 1150-1200^oC; для шихт, офлюсованных известняком, – 1180-1230^oC; с добавками пиролигнина – 1250^oC. Наиболее высокая прочность на сжатие наблюдалась у офлюсованных окатышей – до 2000 Н/окатыш.

Исследования показали, что обжиг окатышей в указанных условиях сопровождался интенсивным развитием металлизации железа за счет собственного углерода шламов и присадок пиролигнина. Установлено, что пиролигнин по своей активности во взаимодействии с CO₂ не уступает древесному углю. Так, степень металлизации окатышей, полученных на основе шлама ДЗП, бедного углеродом, составляла ~ 35 %, после офлюсования шихты она поднималась до 48 %, а при добавке 10 % пиролигнина – до 96 %. Окатыши из аглодоменного шлама ДМК, богатого собственным углеродом, металлизировались на 92-97 %.

Термогравиметрическим методом при 1000^oC в потоке газовой смеси 75%Н₂ + 25%СО исследована кинетика довосстановления тех типов окатышей, глубина металлизации которых в ходе упрочняющего обжига оказалась недостаточной. Восстановление развивалось комплексно, что позволило получить с достаточно высокими скоростями практически полностью металлизированный продукт, прочность которого на сжатие составляла 700-750 Н/окатыш.

Рассмотрена физико-химическая сущность процессов металлизации, развивающихся в ходе упрочняющего обжига и довосстановления окатышей. Их характер определяется закономерностями углетермического и комплексного восстановления железа, для развития которых создаются особенно благоприятные условия вследствие тесного контакта оксидной и углеродной фаз. Методом импульсной газовой хроматографии изучены особенности адсорбционно-химических взаимодействий при газификации углерода в процессе комплексного восстановления железа из техногенных отходов.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности получения на основе железосодержащих шламов окускованного и глубокометаллизированного продукта, предназначенного для сталеплавильного передела. Потребность в углеродистом восстановителе обеспечивается за счет промышленного мало-сернистого отхода – лигнина, подвергнутого предварительной тепловой обработке. Выделяющиеся в ходе обработки летучие составляющие рекомендо-

но утилизировать в виде газов-восстановителей после их термокаталитического преобразования.

УДК 669.181.428:У9(2)

В. Н. Власенко, В. К. Симонов

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕРОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ КОМПЛЕКСНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Потребности черной металлургии в восстановительных газах определяются не только технологическими требованиями современного доменного производства, но и перспективами развития технологий прямого получения железа. Поэтому в условиях острого дефицита природного газа повышенный интерес вызывают исследования кинетических закономерностей процессов газификации различных углей, являющихся поставщиками восстановительных газов в ходе газовой-углетермического восстановления железорудных материалов.

В настоящей работе термогравиметрическим методом изучены скоростные характеристики газификации древесного угля, графита, буроугольного кокса и углеродистого отхода – пиролигнина в потоке CO_2 , H_2O и их смесей различного состава при температуре 1000°C . Пиролигнин получали путем тепловой обработки лигнина Запорожского гидролизно-дрожжевого завода без доступа воздуха при температуре 800°C , а буроугольный кокс – высокотемпературным пиролизом александрийского бурого угля при нагреве до 1200°C . Выбор углеродистых материалов определялся стремлением получить информацию о развитии процесса газификации с участием форм углерода, сильно отличающихся по реакционной способности. Включение CO_2 в сферу исследований вызвано тем, что даже при подаче в реактор чистого водяного пара образуются большие количества диоксида углерода по реакции водяного газа, протекающей очень быстро в условиях повышенных температур.

Установлено, что газификация всех углеродистых восстановителей водяным паром протекала в 1,5 раза быстрее, чем в потоке CO_2 . Газификация углерода смесями $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ (в соотношении 1:1) развивалась быстро, однако результат все же уступал сумме скоростей процессов, проведенных с каждым

окислителем отдельно. Реакционная способность буроугольного кокса и, особенно, пиролигнина оказалась близкой к уровню древесного угля.

Газификация углерода в условиях газовой-углетермического восстановления всегда развивается в присутствии значительного количества H_2 и CO , как образующихся в ходе газификации углерода, так и подаваемых в реактор извне. Поэтому в работе были проведены эксперименты с добавками водорода и CO к окислительным газам. Установлено, что скорость газификации всех типов углей водяным паром значительно уменьшалась указанными добавками; более сильным оказалось негативное влияние CO , чем H_2 . Эффект торможения процесса в присутствии CO имел место и в случае газификации углей углекислым газом. В противоположность этому добавки водорода тормозили процесс газификации в меньшей степени, чем можно было бы ожидать от наблюдаемого уровня снижения парциального давления CO_2 в реакционном пространстве. Такое отличие следует связать с появлением H_2O по реакции водяного газа.

Паровоздушная газификация угля приводит к появлению в реакционной зоне азота, который при температуре $1000^\circ C$ ведет себя как инертный газ. Кинетические исследования процесса газификации в таких условиях позволили определить количественную связь между степенью снижения парциальных давлений H_2O и CO_2 при вводе в реактор инертного газа (аргона) и скоростью газификации разных углеродистых восстановителей. Установлено, что спад скорости в этом случае оказался меньшим, чем при введении водорода и CO в поток окислителей.

Результаты исследований обсуждены с учетом современных представлений о механизме комплексного восстановления железа, о кристаллическом строении различных типов углеродистых материалов и развитии адсорбционно-химических взаимодействий в гетерогенных реакциях газ – твердое тело.

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОЙ СТРУИ В УСТРОЙСТВЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОТСЕЧКИ ШЛАКА

Данная работа касается исследования динамических характеристик газовой струи при втекании ее в тупиковый канал, имитирующий сталевыпускное отверстие конвертера в системе газодинамической отсечки шлака. Изменение характеристик газовой струи оказывает значительное влияние на запирающие свойства струи при отсечке шлака и, соответственно, на качество отсечки. Это обстоятельство требует учета при выборе и конструировании соплового аппарата системы.

При исследовании изменения динамических характеристик особое внимание уделено диссипации (рассеиванию) энергии газовой струи при втекании ее в сталевыпускное отверстие, так как диссипация может в значительной степени уменьшить энергию струи и, соответственно, снизить запирающие свойства струи.

Сопловой аппарат устройства газодинамической отсечки шлака должен обеспечить равномерный профиль скоростей отсекающей газовой струи в выходном сечении сопла и минимальные энергетические потери при истечении газовой струи из сопла.

При втекании струи в сталевыпускное отверстие необходимо создание условий для минимальной диссипации энергии газовой струи и, соответственно, максимального сохранения ее запирающих свойств.

В соответствии с этим задачи исследования включали:

- расчет профиля сопла и вычисление динамических характеристик соплового аппарата;
- определение давления газа перед соплом, необходимое для создания избыточного давления газа в сталевыпускном отверстии, обеспечивающем запирающие свойства;
- исследование диссипации энергии газовой струи при различных условиях втекания струи в тупиковый канал, имитирующий сталевыпускное отверстие, и оценка запирающего давления струи с учетом диссипации энергии.

Результаты расчета диссипации энергии при фронтальном натекании струи представлены на рисунке, из которых следует, что максимум диссипации энергии наблюдается в свободной струе газа (на участке 1-4). В объеме тупикового канала (участок 2 - 3) диссипация энергии струи незначительна. Приведенные результаты указывают на возможность подобрать конструктивные размеры соплового устройства, обеспечивающего минимальную диссипацию запирающей струи.

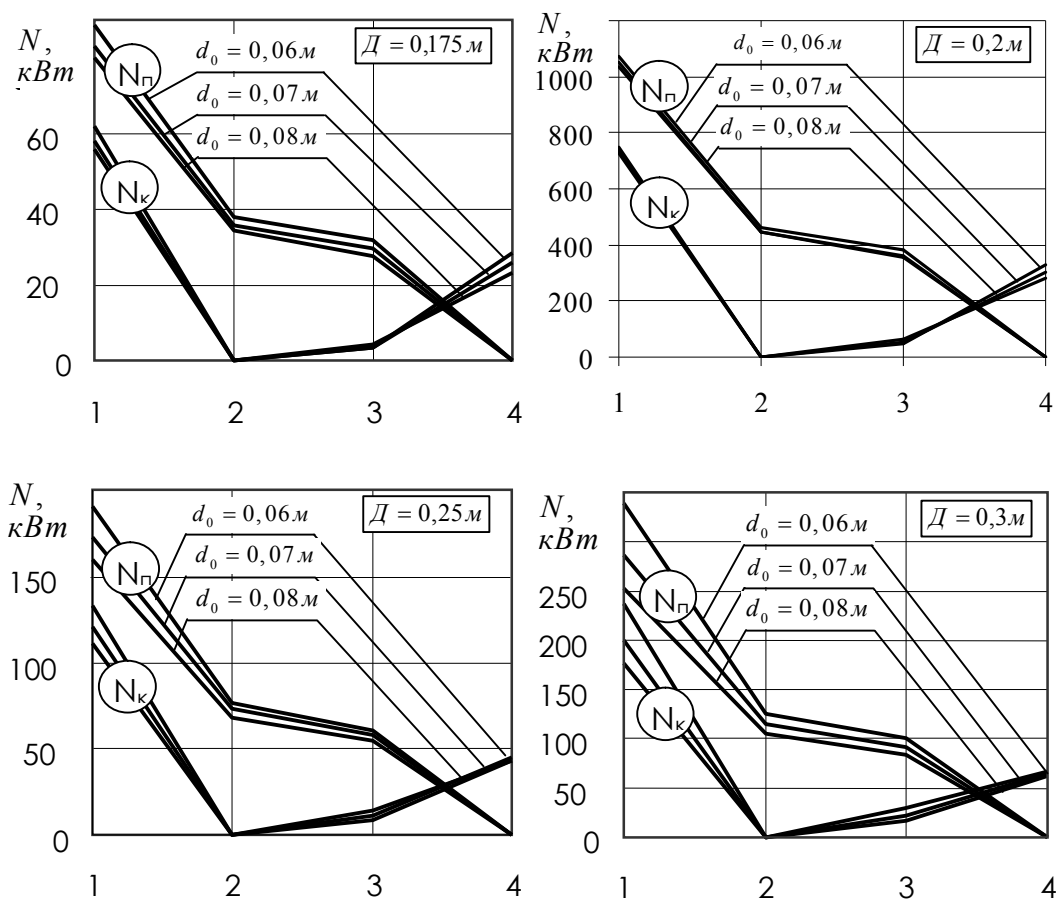
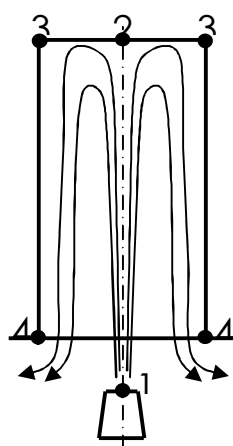


Рисунок. Характер диссипации энергии газовой струи при фронтальном натекании на тупиковый канал



1...4 – на оси абсцисс графиков – точки расчета энергии газовой струи; N_k – мощность, обусловленная кинетической энергией струи; N_n – мощность, обусловленная потенциальной энергией струи; D – диаметр сталевыпускного отверстия; d_0 – диаметр выходного сечения сопла.

Результаты работы могут быть использованы при конструировании соплового аппарата системы газодинамической отсечки шлака для сталеплавильных конвертеров.

Ю. А. Гичёв, К. А. Израелян

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ТЕПЛООБМЕН ГАЗОВОЙ СТРУИ СО СТАЛЕВЫПУСКНЫМ ОТВЕРСТИЕМ В СИСТЕМЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОТСЕЧКИ ШЛАКА

Исследование относится к системе гидродинамической отсечки шлака при выпуске плавки из сталеплавильных конверторов, которая заключается в том, что при выпуске плавки в момент появления шлака в сталевыпускном отверстии летки конвертера на шлак действует газовая струя. В результате происходит отсечка шлака от стали и торможение шлака в сталевыпускном отверстии летки.

В системе газодинамической отсечки шлака теплообмен натекающей газовой струи с леткой конвертера и шлаком оказывает существенное влияние на эффективность отсечки по следующим причинам.

Во-первых, изменяются свойства струи, запирающей шлак в летке (характер движения, температура, скорость и давление в струе).

Во-вторых, изменяются свойства шлака (температура, текучесть, структура).

Эти факторы следует учитывать при эксплуатации системы газодинамической отсечки для нормального функционирования устройства и, в первую очередь, для исключения закупорки летки шлаком вследствие его затвердевания под охлаждающим воздействием отсекающей шлак струи.

Задача исследования заключалась в анализе теплообмена при натекании газовой струи на летку сталеплавильного конвертера для оценки охлаждающего действия струи на изменение агрегатного состояния шлака.

В результате анализа интенсивности теплообмена при втекании газовой струи в канал сталевыпускного отверстия значения средних коэффициентов теплоотдачи составили (см. рисунок):

- при фронтальном втекании струи в канал, из которого полностью вытеснен шлак – $210 \div 380 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;
- при боковом втекании струи в канал из которого полностью вытеснен шлак – $160 \div 360 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;
- при фронтальном втекании струи в частично заполненный шлаком канал – $110 \div 510 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

- при боковом втекании струи в частично заполненный шлаком канал – $205 \div 600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- при втекании струи в полностью заполненный шлаком канал $180 \div 290 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

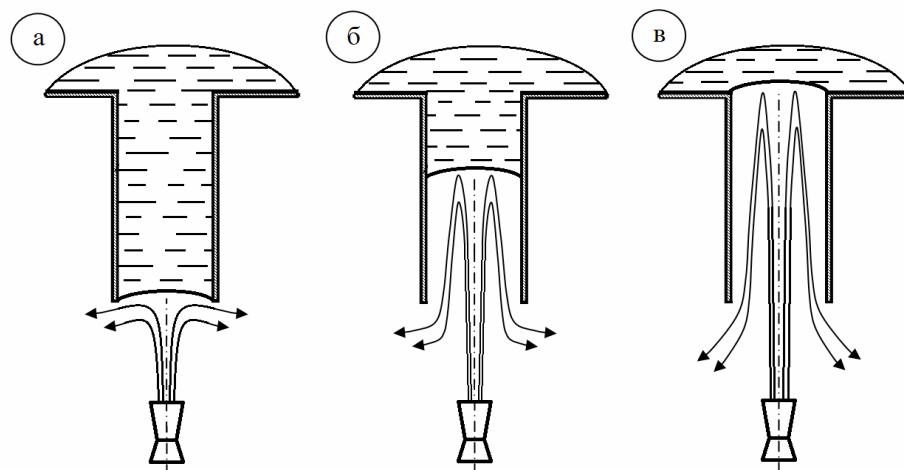


Рисунок. Варианты взаимодействия газовой струи со шлаком
а – заполненный шлаком канал; б – частично заполненный шлаком канал;
в – канал, из которого полностью вытеснен шлак

С учетом максимальных значений суммарного коэффициента теплоотдачи тепловое взаимодействие втекающей в летку конвертера газовой струи со шлаком отражается следующими показателями:

- продолжительность взаимодействия струи со шлаком – 5 с;
- начальная температура поверхности шлака – 1600°C ;
- снижение температуры поверхности шлака – 75°C ;
- теплота фазового перехода в зависимости от состава шлака – $2,83 \div 8,31 \text{ МДж}$;
- количество теплоты аккумулированной газом при контакте со шлаком – $0,70 \text{ МДж}$.

Таким образом, контакт запирающей газовой струи со шлаком снижает температуру поверхности шлака до 1525°C , а количество теплоты, аккумулированной газом, не превышает $10 \div 30 \%$ теплоты фазового перехода шлака, что исключает затвердевание шлака в период отсечки и закупорку летки.

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА ОТХО- ДЯЩИМ ГАЗОМ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ КОНВЕРТЕРОВ

Обжиг известняка конвертерным газом создает предпосылки для совместного решения двух проблем – обеспечения кислородно-конвертерного процесса известью, дефицит которой испытывают предприятия черной металлургии, и более эффективного (по сравнению с существующим состоянием) использования энергетического потенциала конвертерного газа.

В задачу данной работы входили:

- анализ производства и применения извести при выплавке кислородно-конвертерной стали;
- оценка выхода извести и продолжительности обжига при использовании конвертерного газа;
- анализ результатов опытно-промышленного опробования обжига известняка конвертерным газом;
- оценка основных характеристик технологии обжига известняка конвертерным газом.

Обоснование эффективности использования конвертерного газа для обжига известняка требует в первую очередь определения ожидаемого выхода извести, на основе которого можно судить о целесообразности разработки процесса. Оценка выхода извести выполнена для трех вариантов использования конвертерного газа:

- при использовании физической теплоты конвертерного газа;
- при использовании химической энергии конвертерного газа и размещении реактора после газоочистки;
- при совместном использовании физической теплоты и химической энергии газа.

Из результатов расчета ожидаемого выхода извести, следует, что использование конвертерного газа для производства извести может полностью обеспечить или, по крайней мере, компенсировать дефицит извести в кислородно-конвертерном производстве стали.

Для проверки принципиальной возможности реализации обжига известняка конвертерным газом проведено опытно-промышленное опробование процесса в действующем кислородно-конвертерном цехе на заводе им. Петровского, где применяется система отвода газа из конвертера с полным дожиганием. Коэффициент расхода воздуха в зависимости от периода продувки составил от 3 до 5, что обусловило сравнительно небольшие температуры продуктов сгорания конвертера газа на входе в обжиговой реактор (кратковременно до $1000 \div 1100$ °C).

Опытно-промышленное опробование обжига известняка конвертерным газом в действующем кислородно-конвертерном цехе для выплавки стали привело к улучшению ряда технологических показателей кислородно-конвертерного процесса (к сокращению продолжительности продувки на 0,8-3,1%, увеличению выхода годного на 0,2-1,4%, снижению содержания в стали серы на 5,4-20,5% и фосфора на 3,7-34,8%, что подтвердило целесообразность разработки технологии обжига известняка с использованием конвертерного газа.

Предварительный теоретический анализ процесса, выполненный на основе теплового и материального балансов обжига с учетом интенсивности теплообмена в слое и кинетики диссоциации в куске, показал, что технология обжига известняка конвертерным газом представляется в виде синхронизированного с выплавкой стали цикла, включающего в соответствии с выходом газа из конвертера ряд продувок слоя и чередование их с паузами межпродувочных периодов. Полученные в результате теоретического анализа предварительные технологические характеристики обжига использованы в качестве посылок для дальнейших экспериментально-теоретических исследований.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ КОНВЕРТЕРНЫМ ГАЗОМ

В задачу данной работы входили:

- разработка схемы размещения реактора-восстановителя на газотводящем тракте конвертера;
- определение технологических показателей процесса восстановления железорудного сырья: ожидаемый выход металлизированного продукта, степень использования СО конвертерного газа, предпочтительные температурные интервалы восстановления при различных вариантах использования газа.

В период выхода газа из конвертера содержание оксида углерода в нем изменяется. При этом характерными являются [1]:

- увеличение концентрации СО в начальный период продувки конвертера от 0 до максимума;
- стабилизация концентрации СО на максимальном уровне во время развитого процесса обезуглероживания металла;
- снижение концентрации СО от максимума до 0 в конце продувки.

Все это обуславливает следующую схему отвода газа:

- отвод газа с концентрацией СО ниже предела воспламенения на восстановление гематитового железорудного сырья, что исключает выбросы СО в атмосферу [2];
- отвод газа с концентрацией СО выше предела воспламенения, но ниже равновесной концентрации, на дожигание;
- отвод газа с концентрацией СО выше равновесной на металлизацию железорудного сырья.

Выход металлизированного продукта и степень использования СО в зависимости от степени металлизации сырья (при температурах восстановления $700 \div 800^{\circ}\text{C}$) приведены на рисунке.

Результаты расчета показывают преимущество использования высокотемпературного газа по сравнению с охлажденным.

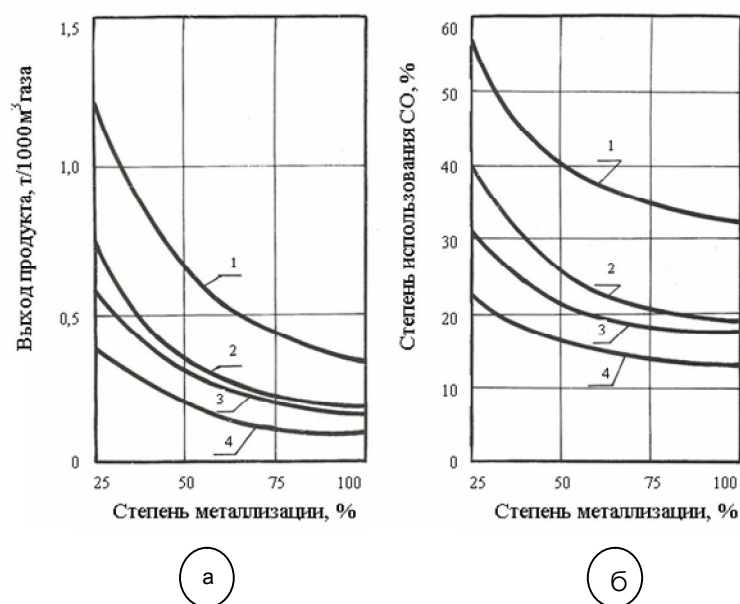


Рисунок – Зависимости выхода металлизированного продукта (а) и степени использования СО (б) от степени металлизации железорудного сырья

1 – при использовании высокотемпературного газа; 2, 3, 4 – при использовании охлажденного газа после частичного сжигания кислородом и воздухом, соответственно, с температурой 500°C и 20°C.

Выход металлизированного продукта при использовании высокотемпературного газа в среднем в 2-3 раза больше, чем при использовании охлажденного газа. Тем не менее результаты расчета указывают на целесообразность использования конвертерного газа в качестве восстановителя при обоих вариантах размещения системы.

Выход высокометаллизированного продукта ($\varphi_{\text{мет}} \geq 75\%$) может составить при этом от 100 до 350 кг на 1000 м³ конвертерного газа.

Степень использования СО (см. рис.) в варианте с высокотемпературным газом при получении высокометаллизированного продукта составляет более 30%, что соответствует показателям прямого получения железа с применением других технологий. Для охлажденного газа степень использования СО на восстановление составляет до 20%, но с учетом расхода газа на получение высокотемпературной смеси показатель использования СО возрастает на 10-15%.

Список литературы

1. Гичёв Ю. А. Взгляд на проблему использования отходящих газов сталеплавильных конвертеров // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004. – №2 (8). – С. 30-36.

2. Гичёв Ю. А. Возможность сокращения выбросов СО в атмосферу при кислородно-конвертерном производстве стали. // Экология и промышленность. – 2006. – №3 – с.41-52.

УДК 669.046:532

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

**ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ОПРОБОВАНИЕ
ПУЛЬСАЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА ПРИ РАЗОГРЕВЕ
СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**

Пульсационное сжигание топлива является одним из наиболее перспективных направлений повышения тепловой эффективности работы энергетических и технологических агрегатов различного назначения. Пульсации обеспечивают повышение качества сжигания топлива, улучшение использования рабочих объемов печей и других агрегатов, повышают коэффициенты тепло- и массообмена и снижают негативное экологическое влияние топливосжигающих устройств на окружающую среду.

Пульсационно-резонансный режим сжигания природного газа был опробован на стенде разогрева сталеразливочных ковшей перед подачей их под выпуск плавки. При этом для более точной оценки эффективности пульсационного сжигания рассматривались только те ковши, которые разогревались из холодного состояния, т.е. после длительного простоя.

Разогрев сталеразливочных ковшей перед постановкой их под плавку производился на специальном стенде, оборудованном системой пульсационного сжигания топлива с возможностью настройки на резонансный режим сжигания, т.е., когда вынужденные пульсации газоздушного потока совпадают с собственными колебаниями в рабочем объеме ковша. Ковш укладывался на передвижную тележку грузоподъемностью 80 тонн в горизонтальное положение и придвигался к огнеупорной стене с выступающей горелкой типа ГНП-9. Ось горелки расположена на расстоянии $1/3$ диаметра ковша от нижней кромки

ковша. Режим разогрева (расход газа, продолжительность и прочие) был строго согласован с технологической инструкцией.

Перед постановкой ковша под плавку проверялось состояние футеровки. После установки ковша на сталеvoz и подачи его в положение «выпуск» производилось измерение температуры футеровки сталеразливочного ковша. Температура на момент выпуска плавки должна быть не менее 700 °С, а для ковшей принимающих первую плавку после ремонта – не менее 650 °С.

Всего с применением пульсаций было разогрето 5 ковшей. Результаты пульсационного разогрева представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний пульсационного сжигания топлива на посту разогрева сталеразливочных ковшей

№ опыта	Частота пульсаций, Гц	Температура футеровки, °С	Температура кожуха, °С	Общий расход природного газа, м ³	Экономия природного газа, %
–	18 ÷ 30	900	93	2000	–
1	18 ÷ 30	879	89	1550	22,5
2	18 ÷ 30	910	97	1610	19,5
3	18 ÷ 30	750	82	1335	33,3
4	18 ÷ 30	737	77	1245	37,8
5	18 ÷ 30	777	84	1425	28,8

Несмотря на существенное сокращение расходов природного газа на разогрев, температура футеровки на днище ковша вполне удовлетворила требованиям технологии.

В целом результаты испытаний системы пульсационного сжигания топлива на постах разогрева сталеразливочных ковшей позволили сделать следующие выводы:

а) испытания показали достаточно высокую работоспособность пульсационного устройства в промышленных условиях и возможность обеспечения требуемых технологических условий при разогреве ковшей;

б) технологический резонанс установлен при разогреве ковшей в диапазоне частот 18÷30 Гц;

в) уменьшение потребления природного газа и, соответственно, его экономия составила 19,5÷37,8%.

Результаты опытно-промышленного опробования позволяют рекомендовать пульсационное сжигание топлива для широкого внедрения при разогреве сталеразливочных ковшей.

УДК 669.151198:669.287

С. М. Григорьев⁽¹⁾, А. С. Петрищев⁽²⁾, А. М. Ковалёв⁽¹⁾

⁽¹⁾Запорожский национальный университет, Запорожье

⁽²⁾Запорожский национальный технический университет, Запорожье

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ МОЛИБДЕНОСОДЕРЖАЩИХ ЛЕГИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Промышленное опробование восстановления углеродом и комбинированного восстановления шихтовых компактированных материалов показало, что разбухание брикетов полезно лишь в определенных пределах, отвечая требованиям технологического процесса и полноте усвоения элементов из полученного материала. При этом необходимо учитывать снижение теплопроводности навески и спекания частиц восстанавливаемого материала [1, 2].

Целью настоящей работы являлась разработка основных технологических параметров восстановления оксидных рудных концентратов молибдена и молибденосодержащих техногенных отходов, а конкретные задачи этого этапа исследований заключались в изучении влияния некоторых технологических параметров процесса восстановления углеродом брикетов на основе MoO_3 на степень их разбухания, а также причин, вызывающих это явление, для целенаправленного регулирования его в промышленных условиях.

Установлена зависимость кажущейся плотности продуктов восстановления оксида MoO_3 углеродом от содержания добавок в шихте шлакообразующей смеси на основе CaO , MgO , Al_2O_3 , CaF_2 , SiO_2 , которые влияют на процессы спекания компонентов шихты. Достигнуты значения кажущейся плотности 2,90-2,95 г/см³, которая обеспечивает легирование расплава на границе раздела шлак-металл, что снижает угар легирующих элементов за счет предотвращения окисления кислородом атмосферы печи.

Анализ процессов восстановления дал возможность разработать составы шихты с использованием металлизированных молибдена, окалины сплава 79НМ и других ингредиентов, что позволило снизить угар молибдена, сократить время его растворения при легировании расплава металла и снизить себестоимость передела выплавки сплава 79НМ.

Исследования технологии легирования быстрорежущей стали металлизированным молибденовым концентратом (КММ) показали, что при его расходе 24 кг/т стали степень усвоения хрома, вольфрама, молибдена, ванадия повысилась с 78,4; 87,4; 86,8; 73,5 до 87,8; 92,7; 88,9; 77,6 % соответственно, а выход годного увеличился с 57,7% (с применением оксидного молибденового концентрата) до 62,6 %. С повышением расхода КММ до 31 кг/т стали степень усвоения этих элементов возросла соответственно с 87,8; 92,7; 88,9; 77,6 до 91,4; 94,8; 95,0; 82,3 % вследствие снижения окислительной способности шихты и увеличения скорости растворения в расплаве стали по сравнению со стандартным ферромolibденом, за счет губчатой структуры материала с заданной кажущейся плотностью. При этом экономический эффект от использования 1 т губчатого ферромolibдена составил 3856,967 дол. США [3].

Получение металлизированных легирующих материалов на основе рудных концентратов молибдена, а также техногенных отходов прецизионных сплавов, обеспечивает более рациональное использование легирующих элементов, запасы которых с каждым годом истощаются, и снижение вредных выбросов в атмосферу, по отношению к производству ферросплавов молибдена, что приводит к улучшению экологической обстановки промышленных регионов.

Список литературы

1. Ляйтнер Ю., Хуалер Х., Оэтерс Ф. [и др.]. Применение ферромolibдена пониженной плотности в жидкой стали // Черные металлы. – 2001. - №4. –С.31-37.
2. Григорьев С. М., Острик П. Н., Игнатов Л. Н. [и др.]. Кинетические закономерности комбинированного восстановления оксидных молибденовых концентратов // Сталь. – 1987. – №10. – С. 87-90.
3. Григор'єв С. М. Інноваційна доцільність виробництва металізованого молибденового концентрату в Україні // Держава та регіони. – Запоріжжя: КПУ. - 2010. – №1. – С. 97-100.

**РОЛЬ $Fe_{мет}$ В ПРОЦЕССЕ ТВЕРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ОКСИДНОЙ ФАЗЫ**

Твердофазное восстановление оксидов различных металлов представляет значительный научный и практический интерес. В первую очередь это связано с возможностью получения ценного металлического порошка, который обладает высокими технологическими свойствами. Комплексное восстановление совместно оксидов железа и хрома при температурах, исключающих появление расплавов, дает возможность при значительной экономии энергоносителей получать ценную легирующую добавку. Детальный анализ механизма такого рода процессов позволит существенно интенсифицировать процесс. В этой связи при твердофазном восстановлении особый интерес вызывает адсорбционно-химическое звено процесса, а именно – возможность его интенсифицировать. Одним из аспектов механизма процесса, который не имеет однозначного научного объяснения, является роль металлического железа, в частности его каталитическое действие на реакцию газификации углерода. Существующие различные гипотезы не имеют однозначных доказательств. По одной из них $Fe_{мет}$ ускоряет последнюю стадию процесса газификации углерода - выделение CO за счет разрушения кето – комплексов [1,2]. При этом, как правило, считают, что оно реализуется путем внедрения атомов металла в кристаллическую решетку $C_{ТВ}$ и приводит к ослаблению межуглеродных связей. Однако возможен и другой механизм каталитического действия металлического железа, сущность которого сводится к следующему [1,2]. Существуют условия для течения реакции $Fe + CO_2 = FeO + CO$, которая приводит к образованию на поверхности металлической фазы железо-кислородных комплексов. Концентрация их велика вблизи кристаллов вюстита (где газ обогащен CO_2) и понижена у зерен углерода (где газ обогащен CO). Наличие градиента концентраций вызывает миграцию атомов кислорода вдоль поверхности железа к зернам $C_{ТВ}$. В местах тесного контакта кристаллов $Fe_{мет}$ и $C_{ТВ}$ кислород переходит на поверхность углерода (обладающего большим сродством к кислороду). В дальнейшем атомы O частично мигрируют по поверхности $C_{ТВ}$, отчасти внедряются в междзисные пространства его решетки, что приводит к увеличению адсорбционной емкости углерода и дополняет развитие стадии газификации углерода.

Таким образом с возникновением железо – кислородных комплексов в металле возникает дефицит электронов. Он может распространяться на примыкающие зерна графита, так как работа выхода из $Fe_{мет}$ и $C_{ТВ}$ практически одинакова. Потеря кристаллической решеткой графита части коллективизированных π - электронов является своего рода подготовкой к его окислению; происходит ослабление межуглеродных связей, способствующее разрушению кето – групп.

Вероятно, влияние $Fe_{мет}$ реализуется по обоим путям одновременно. И все же в пользу второй схемы механизма говорит весьма затяжной рост скорости восстановления графитом на этапе $FeO_{min} O \rightarrow Fe$.

Как уже отмечалось, теснейшая связь между каталитическим действием $Fe_{мет}$ и совершенством его контакта с $C_{ТВ}$, была показана в исследованиях [3]. Слоистая структура графита благоприятствует хорошему контакту твердых реагентов и проявлению автокатализа на этапе $FeO_{min} O \rightarrow Fe$. Поддержанию этого контакта способствует сильная усадка порошка шихты в процессе восстановления. Преобразующиеся при кристаллохимических превращениях оксидные фазы как бы стягиваются к центрам, находящимся внутри объема реагирующей смеси. Это явление было названо «собирающей кристаллизацией» новых фаз. Она наиболее успешно развивается вблизи зерен графита, обеспечивая совершенный контакт его с появляющимся металлическим железом.

Изложенные выше результаты исследований свидетельствуют о том, что $Fe_{мет}$ ускоряет газификацию различных видов углеродистых восстановителей. Однако достигаемая степень ускорения неодинакова. Она сильно зависит от свойств $C_{ТВ}$ и совершенства контакта углеродистой и металлической фаз.

Литература

1. Ростовцев С.Т., Симонов В.К. Некоторые особенности кинетики и механизма восстановления окислов железа углеродом // Физико-химические основы производства стали. – М.: АН СССР, 1961. – С. 143-156.
2. Гришин А.М., Симонов В.К., Власенко В.Н. О механизме влияния некоторых катализаторов в процессах восстановления оксидов железа // Теория и практика металлургии. – 2000. – №5. – С. 44-48.
3. Симонов В.К. Механизм и кинетика восстановления окислов железа твердым углеродом: Дис. канд. техн. наук: 05.16.02. – Защищена 22.12.62. Утв. 18.05.63; 008606. – Днепропетровск, 1962. – 181 с.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКИХ ФАЗ НА СТЕПЕНЬ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ МЕТАЛЛА В УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ НА АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ

Целью работы являлось исследование влияния энергии перемешивания жидких фаз в агрегате ковш-печь (АКП) на степень десульфурации металла.

По экспериментальным данным, для условий обработки металла на агрегате ковш-печь с емкостью ковшей 60 и 120 тонн, было рассчитано удельную энергию перемешивания [1,2,4]. Отношение высоты к среднему диаметру для 60-тонного ковша равняется 1,3, а для 120-тонного ковша – 1,1. Удельный расход инертного газа для 60-т и 120-т ковшей составлял 0,15 - 0,25 и 0,1- 0,2 м³/т соответственно.

Согласно исследованиям [3] реакция десульфурации протекает на границе раздела металл-шлак и лимитируется диффузией, то есть скорость реакции ограничена массоотдачей серы в объеме шлака или металла. Наиболее эффективным способом интенсификации процесса удаления серы является увеличение поверхности раздела взаимодействующих фаз.

Было определено, что степень десульфурации растет с увеличением мощности перемешивания в виде степенной функции с показателем степени 0,2392. Степень десульфурации определялась по выражению (1)

$$\delta S = \frac{[S]_н - [S]_к}{[S]_н} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $[S]_н$, $[S]_к$ – начальное и конечное содержание серы в металле, %.

Поскольку начальное содержание серы в металле для агрегата ковш-печь является не контролируемым параметром, то энергия перемешивания может оказывать влияние только на конечное содержание серы в металле, которое представляет собой сумму равновесной концентрации серы и величины отклонения от равновесия. Значение равновесной концентрации серы определяется термодинамическими условиями обработки – составом шлака, металла и температурой протекания процесса. Из сказанного следует, что мощность перемешивания оказывает воздействие на величину отклонения от равновесной концентрации серы.

Было определено, что с ростом удельной энергии перемешивания система стремится к равновесному состоянию, и величина отклонения от равновесия уменьшается в виде степенной функции с показателем степени 0,428.

ВЫВОДЫ. Таким образом, в работе рассмотрено влияние мощности перемешивания металла инертным газом на степень десульфурации металла для условий обработки на агрегате ковш-печь. Показано, что интенсивность перемешивания жидких фаз существенно влияет на эффективность использования рафинировочных свойств шлаков АКП.

Список литературы

1. *Лекер Т.* Моделирование процесса вдувания порошка // Инжекционная металлургия. Лука, Швеция, 1977. – М.: Металлургия, 1981. – С. 94 – 118.
2. *Поволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарёв А.Ф.* Внепечная обработка стали. – М.: «МИСИС», 1995. – 256 с.
3. *Меджибожский М.Я.* Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – К. – Д-цк: «Вища школа», 1986. – 280 с.
4. *Дюдкин Д.А., Бать С.Ю., Гринберг С.Е.* Производство стали на агрегате ковш-печь. – Донецк: ООО «Юго-восток, Лтд», 2003. – 300 с.
5. *K. Nakanishi, T. Fujii and J. Szekely* // Ironmaking and Steelmaking, 1995. – С. 193.
6. *О. Хайда, Т. Эми, С. Ямада и др.* Десульфурация чугуна вдуванием порошкообразных смесей на основе извести в ковши миксерного типа // Инжекционная металлургия'80. Лулеа, Швеция, 1980. – М.: Металлургия, 1982. – С. 188 – 201.
7. *Самарин А.М., Темкин М.И., Шварцман.* ЖФХ, 1946. – № 20. – С. 110.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫПЛАВКИ СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТЬЮ ЗА СЧЕТ БОРА

Важным свойством стали является ее способность к получению максимальной твердости при закалке. Глубина полученного при этом закаленного слоя с мартенситной или мартенситно-трооститной структурой зависит от многих факторов, в том числе от состава аустенита. Все элементы, растворяющиеся в аустените (за исключением Co), увеличивают прокаливаемость. Особая роль в этих процессах принадлежит бору. Ни один из этих элементов, при содержании порядка 0,0005%, не может сравниться с бором по эффективности. На прокаливаемость оказывает влияние не весь бор, а только та его часть, которая не связана в оксиды, нитриды или в другие соединения и находится в твердом растворе в аустените; так называемый «эффективный» бор. При содержании менее 0,007% бор заметно повышает прокаливаемость стали, не оказывая вредного влияния на остальные свойства, поэтому стали, содержащие 0,0005-0,007% бора, имеют важное промышленное значение.

В стальных изделиях, используемых в закаленном и отпущенном состоянии, некоторые легирующие элементы, добавляемые для увеличения прокаливаемости, можно заменить эффективным бором. В жидкой стали бор легко соединяется с кислородом, азотом и другими примесями. Если не предотвратить это взаимодействие, то в стали не останется свободного бора. Для сохранения части бора в свободном состоянии во время плавки, перед добавкой бора сталь необходимо полностью раскислить алюминием, а при значительном содержании азота, перед добавкой бора или вместе с ним, добавить нитридообразующие элементы (титан или цирконий).

Учитывая что бор в печи обычно окисляется и удаляется в шлак, в производственных плавках бор почти всегда добавляют в ковш. Содержание кислорода и азота, поскольку они являются в основном вредными элементами, определяется совершенством металлургического производства, однако уменьшение их содержания повышает стоимость стали. Поэтому наиболее перспективно применение бора для сталей электросталеплавильного способа производства, со-

держащих наименьшие количества кислорода, серы, фосфора и других примесей.

Одной из причин, тормозящей, до определенного времени, широкое применение бора для улучшения прокаливаемости стальных изделий, были трудности в определении тысячных и десятитысячных процентов бора и особенно в виде его эффективной части. Если в настоящее время проблема определения общего содержания малых количеств бора в стали практически решена, то определение содержания эффективного бора требует внедрения на металлургических заводах Украины специального физико-химического метода фазового анализа. Отсутствие до последнего времени такого метода, в определенной мере тормозит разработку и внедрение применения бора в сталеплавильных процессах в Украине.

Мы предлагаем один из вариантов решения ее химико-аналитической части. Он заключается в том, что с помощью электрохимического метода фазового анализа отделяется эффективный бор, находящийся в твердом растворе стали, от бора, связанного в оксиды, нитриды и другие соединения. Содержание эффективного бора определяется по ГОСТу в условиях, когда после электролиза в анализ попадает только эффективная часть бора, не связанная в различные соединения. С помощью этой методика были определены количества общего и эффективного бора в совместной работе с Нижнеднепровским трубопрокатным заводом. Химический состав исследованной стали по данным завода (общ.сод.,% мас.): 0,24%C, 0,53%Mn, 0,09%Si, 0,012%P, 0,020%S, 0,09%Cr, 0,04%Ni, 0,03%Cu, 0,037%Al, 0,002%Ti, 0,003%B. Данные НМетАУ: 0,0024%B_{общ.}, 0,0010%B_{эфф.}. Нами получен Патент Украины на это изобретение [1], который делает возможным совместно с заводами Украины разработать и внедрить выплавку новых высококачественных борсодержащих сталей. Об актуальности этой проблемы свидетельствуют также публикации все новых патентов на производство за рубежом (в том числе в России) разных марок бористых сталей.

Список литературы

1. Пат. № 79966, Україна, МПК (2006) G01N 21/78(2007.01) G01N31/22 G01N 33/20. Спосіб визначення вільного бору в сталі /О.О.Малюк, І.Ю.Лев. – Опубл.15.12.2006, Бюл. № 12.

АЛЮМОТЕРМІЧНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ ФЕРОТИТАНУ З ВМІСТОМ ТИТАНУ 40–43% БЕЗ ДОДАВАННЯ ТИТАНОВИХ ВІДХОДІВ

Одним з найбільш поширених і технологічно ефективних сплавів, що вводиться в розплав у процесі плавки для кінцевого легування, розкислення і дегазації сталі є феротитан [1]. Так, наприклад, в корозійностійких сталях титан зменшує інтеркристалічну корозію і покращує зварюваність [2]. У корозійностійких і жароміцних сталях він використовується як стабілізатор, який пов'язує вуглець і перешкоджає утворенню карбідів хрому. Вміст титану в феротитані регламентується нормативними документами, зокрема ДСТУ 4761-91.

Основну кількість феротитану отримують із ільменітових концентратів ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$), як правило, алюмотермічним способом [3–5].

Автори робіт [1, 2] стверджують, що алюмотермічним способом отримати феротитан з вмістом в ньому титану понад 30–32 % мас. неможливо. Метою ж цієї роботи було отримання алюмотермією FeTi з вмістом в ньому титану в межах 40–43 % мас. без додавання титанових відходів.

Розрахунок шихти для виплавки феротитану вели на 100 кг титанового концентрату. Плавки проводили в тиглі (Н 200 мм, Ø 160 мм), футерованому сумішшю магнезитового порошку (95 %), рідкого скла (0,7 %) і вогнетривкої глини (4,3%). Товщина футерівки 25–30 мм.

В тигель завантажували 1/3 шихти, засипали запальну суміш (магнієва стружка + Fe_2O_3) і запалювали паяльною лампою. Після початку процесу на поверхню подавали шихту таким чином, щоб поверхня розплаву була нею закрита.

Ільменітовий концентрат повинен містити не менше 63% TiO_2 . Для зменшення вмісту сірки (до 0,04%) та руйнування кристалічної ґратки з переходом FeO в Fe_2O_3 концентрат необхідно піддавати окисному відпалу при температурі 1100–1150 °С. Це дозволить підвищити термічність процесу, вихід титану та знизити витрати алюмінію.

Було проведено ряд плавів. Результати однієї з них (далі плавка № 1) наведено нижче.

При проведенні плавки № 1 використовували ільменітовий концентрат ММК ім. Ілліча, алюмінієву крупку (95 % Al) НТУУ «КПІ», залізну руду НТУУ

«КПІ», феросиліцій 75%-й, вапно ММК ім. Ілліча. Шихту і тигель підігрівали до 400 °С. Вихід титану становив 75,14 %. Хімічний склад сплаву і шлаку плавки № 1 наведено в табл. 2 й 3 відповідно.

Таблиця 2. Хімічний склад феротитану плавки № 1, %

Ti	Fe	Al	Cr	Mn	Si	Ca	Mg	Cu	Nb	Sn	Pb	п.п
43,5	34,9	14,1	1,04	0,96	3,81	0,34	0,32	0,1	0,1	0,35	0,35	0,31

Таблиця 3. Хімічний склад шлаку плавки №1, %

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	CaO	K ₂ O	п.п
45,7	12,7	3,61	0,34	5,1	22,6	0,16	9	0,21	0,48

Процес відновлення протікав спокійно, без викидів. Спостерігалось виділення газів.

Фазовий склад отриманого сплаву представлений в основному титанідами TiFe (TiFe₂). Оксидні включення представлені в основному ільменітом FeO·TiO₂, оксидом титану TiO₂ і оксидами заліза. Мікрорентгеноспектральний аналіз зразків виконували на растровому електронному мікроскопі PEM 106i, (SEIMI, Україна). Фазовий склад визначався на рентгенівському дифрактометрі (XRD) багатоцільового призначення з горизонтальним розташуванням досліджуваного зразка RIGAKU (Японія).

На підставі отриманих результатів авторами цієї роботи розроблена і передана на Хіміко-металургійну фабрику ММК ім. Ілліча технологічна інструкція з виробництва феротитану алюмотермічним способом марки FeTi40Al10 по ДСТУ 4761-91 з ільменітового концентрату.

Отже, проведені експерименти засвідчили, що при правильному розрахунку шихти і дотриманні оптимальних технологічних параметрів процесу алюмотермічним способом можна отримувати феротитан з вмістом титану на рівні 40–43 % з ільменітового концентрату (TiO₂ не менше 63 %), без додавання титанових відходів, що веде до зниження собівартості процесу.

Список літератури:

1. И. В. Бабайцев, Н. А. Смирнова, В. М. Соколов, А. К. Толешов. Условия теплового самовоспламенения шихты для получения ферротитана // ИЗВЕСТИЯ высших учебных заведений. ЧОРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ. – 2008, № 3. – С. 27–29.

2. *Костяков В. Н., Найдек В. Л., Медведь С. Н. и др.* Особенности технологии выплавки ферротитана из ильменитового концентрата в дуговой печи постоянного тока// Процессы литья. – 2004, № 1. – С. 81–85.
3. *Гасик М. И., Лякишев Н. П., Емлин Б. И.* Теория и технология производства ферросплавов. – М.: Металлургия, 1988. – 784с.
4. *Алюмотермия / Н. П. Лякишев, Ю. Л. Плинер, Г. Ф. Игнатенко, С. И. Лапко.* – М.: Металлургия, 1978. – 424 с.
5. *Мурач Н. Н., Мушенко В. Т.* Алюмотермия титана. – М.: ГОСИНТИ, 1958. – 236 с.
6. *Гасик М. И., Лякишев Н. П.* Физикохимия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2005 г. – 448 с.

УДК 504:669.053:62-0404.9.002.84

Л. В. Камкина, Я. В. Стовба, Н. А. Колбин, А. П. Мешалкин, Р. В. Анкудинов
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ВЫБОР УГЛЕРОДИСТЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

При применении углерода большое значение имеет его реакционная способность. В технической литературе есть сведения, что реакционная способность угля изменяется в широких пределах в зависимости от степени метаморфизма. Чем выше последняя, тем меньше его способность восстанавливать оксиды железа, что объясняется увеличением стойкости химических связей между структурными элементами угля и возрастанием доли низкопористого углеродного вещества. Так, при восстановлении рудоугольных окатышей замена низкорекционноспособного антрацита бурым углем сопровождалась возрастанием выхода готовой продукции приблизительно в 2 раза. При работе на восстановителях с большой реакционной способностью значительно снижается температура протекания процесса восстановления. Отмечено, что реакционная способность угля может быть до некоторой степени связана с содержанием, составом и поведением летучих. Целесообразность применения углеродистых восстановителей низкой степени метаморфизма, которые имеют в своем со-

ставе повышенное количество летучих, обусловлена экономическими и технологическими соображениями. Большая часть таких высоко реакционноспособных углеродсодержащих материалов менее дефицитна и стоимость их ниже по сравнению с коксом. Нами в качестве углеродистых восстановителей выбраны древесный и газовый угли, нефтекокс и пиролизированный лигнин (продукты обжига без доступа воздуха растительных остатков сельскохозяйственного производства и деревообрабатывающей промышленности).

Максимальные степени восстановления оксидной части концентрата при одинаковых условиях проведения экспериментов (температура и давление) получены при использовании в качестве восстановителя опытного углеродсодержащего материала растительного происхождения и древесного угля. Также по промежуточным степеням восстановления опытных образцов концентрата для соответствующих температур эксперимента рассчитывалось время процесса, необходимое для получения заданного соотношения оксидов к восстановленному железу. Активность пиролигнина, как восстановителя, сопоставима с активностью древесного угля и намного превышает восстановительные способности нефтекокса и газового угля. Так, за 30 минут восстановительно-тепловой обработки степень восстановления гематитового концентрата при использовании в качестве восстановителя пиролигнина составила около 90%, а при использовании нефтекокса или газового угля за то же время эта величина достигает 50-54%.

Повышение температуры до 1000°C , оставляя неизменным соотношение между активностями используемых восстановителей, значительно интенсифицирует процесс восстановления во всех исследуемых случаях. Степень восстановления концентрата пиролигнином и древесным углем при 1000°C достигает значения $\sim 90\%$ за время порядка 15 мин, а при 900°C за то же время степень восстановления газовым углем и нефтекоксом составляет лишь ~ 50 . Кроме того, при температуре 1000°C пиролигнин восстанавливает концентрат более эффективно, чем древесный уголь. Наиболее активным восстановителем является пиролизированный лигнин; он имеет преимущества даже перед древесным углем. Это является следствием активирования поверхности $\text{C}_{\text{ТВ}}$ в результате удаления летучих и влаги, что существенно ускоряет адсорбционно-химические взаимодействия в процессе газификации $\text{C}_{\text{ТВ}}$ и углетермического восстановления железа в целом.

Исследуемый гематитовый концентрат подвергали брикетированию совместно с различными углеродистыми восстановителями. Повышение температуры восстановления до 1000°C , как и в случае порошкообразной шихты значительно интенсифицирует восстановление во всех случаях. Поскольку при восстановлении оксидов железа преимущественно развивается двухзвенная схема механизма восстановления с регенерацией двууглекислого газа до CO , при брикетировании увеличивается число контактов твердого углерода с оксидом. Это приводит к ускорению взаимодействия оксида с углеродом, как иницирующей реакцию газификации углерода.

Брикетирование интенсифицирует процессы восстановления, однако, наблюдается уменьшение разницы между активностями твердых восстановителей, что расширяет возможности использования углеродистых восстановителей различного типа в сторону менее дефицитных сортов.

УДК 669.1: 622.788.5.001.2

Н. А. Колбин, Ю. И. Сокур, Л. Ю. Колодяжная, А. В. Боченкова

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ПОВЕДЕНИЕ СЕРЫ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

В качестве твердого восстановителя в агрегатах прямого получения железа вместо дефицитного кокса обычно используют недорогие марки углей. Твердые восстановители, как правило, содержат значительное количество серы, которая в процессе восстановления может переходить в металлизированный продукт, снижая его ценность для дальнейшего передела. В настоящее время вопросам механизма и кинетики поглощения металлом серы из различных серосодержащих материалов и соединений, вопросам удаления серы из восстановленного железа в твердых фазах уделяется значительное внимание. Однако, обоснование выбора десульфуризирующего вещества, определение его оптимального количества, момента ввода его в восстановительный агрегат и другие технологические параметры выведения серы из металла изучены недостаточно. Их теоретическое решение даст практикам инструмент в борьбе за снижение содержания серы в металлизированном продукте.

При металлизации железорудных материалов во вращающейся печи, сера, содержащаяся в значительных количествах в твердых восстановителях, пе-

переходит через газовую фазу в металлизированный продукт. Исследование кинетики перехода серы из угля в твердые продукты восстановления качканарских и лебединских окатышей как в процессе углетермического так и при комбинированном восстановлении, изучалось при 1000°C.

Установлено, что скорость поглощения серы при углетермическом восстановлении снижается по ходу процесса, т.е. имеется место тесная взаимосвязь между скоростью газификации твердого восстановителя и скоростью переноса серы к металлическому образцу. Исследования показали, что процесс поглощения серы близок к топохимическому. Содержание серы при переходе от углетермического к комбинированному восстановлению резко снижается, что связано с десульфуризирующим действием CO и H₂. Изучалось десульфуризирующее действие ряда веществ, таких как сода, хлорид натрия, MgO, CaF₂, CaCO₃, CaO и др. Установлено, что при прямом получении железа активными десульфураторами могут быть известь и известняк, причем независимо от того когда они даются в печь, в начале или конце процесса. Дача десульфуратора в конце процесса позволит уменьшить его количество вследствие уменьшения длительности истирания его в условиях вращающейся печи.

Атмосфера в печи при восстановлении может быть как восстановительной так и окислительной. Поэтому проводились исследования по влиянию состава газовой фазы на поглощение серы окатышами. В печную атмосферу вводились: водород, природный газ, аргон, двуокись углерода, воздух, смесь моделирующая состав газовой фазы в верхних горизонтах слоя шихтовых материалов, состоящая из кислорода, двуокиси углерода, азота, метана и восстановительных газов. Минимальная концентрация серы отмечены при введении в реактор двуокиси углерода и аргона. Последний является разбавителем сернистых газов снижает их парциальное давление и тем самым затрудняет переход серы в металл. Двуокись углерода взаимодействует в объеме шихтовых материалов с углеродом восстановителя с образованием CO. Т.к. реакция газификации углерода идет с увеличением объема, она обуславливает стефановский поток из массы рудугольной шихты и приводит к удалению сернистых газов из реакционного объема. При углетермическом восстановлении введение в реакционное пространство указанных газов в ряде случаев меняет их характер их влияния на содержание серы в металлизированном образце.

Показано, что скорость поглощения серы окатышами при углетермическом восстановлении закономерно снижается по ходу процесса с уменьшением

скорости восстановления, т.е. имеется тесная взаимосвязь между скоростью газификации твердого восстановителя и скоростью переноса серы к металлизированному образцу. Содержание серы в металлизированном продукте с переходом от углетермического к комбинированному резко снижается, что связано с десульфурующим действием восстановительных газов. Концентрация серы в металлизированном продукте уменьшается практически по линейному закону с увеличением содержания СаО. При комбинированном восстановлении слоя окатышей содержание серы по высоте столба шихтовых материалов неравномерно. Максимальная концентрация отмечена для нижнего и верхнего подслоев. Вызывает интерес переход серы в газовую фазу и ее перераспределение между фазами, что требует проведения дополнительных экспериментальных и теоретических исследований.

УДК 669.187.56

Ф. Л. Леоха, А. Д. Рябцев, С. Н. Ратиев, А. А. Грицюк

Донецкий национальный технический университет, Донецк

ЛЕГИРОВАНИЕ ТИТАНА КИСЛОРОДОМ И УГЛЕРОДОМ ПРИ КАМЕРНОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПЕРЕПЛАВЕ

В настоящее время для переработки титановой губки в передельные слитки используют вакуумно-дуговой переплав и электронно-лучевую плавку. Альтернативным вакуумным переплавным процессам может быть камерный электрошлаковый переплав в контролируемой атмосфере под "активными" металлсодержащими шлаками (КЭШП). Этот способ характеризуется относительной простотой используемого оборудования, гибкостью технологических параметров, достаточно высоким качеством и относительно невысокой себестоимостью получаемого металла. Он позволяет, как эффективно рафинировать титан от кислорода и азота, так и легировать его кислородом и углеродом.

Поскольку кислород и углерод оказывают не только негативное, но и положительное влияние на свойства титана была рассмотрена возможность легирования титана кислородом или углеродом.

В работе приведены результаты легирования титана кислородом по трем технологическим схемам и углеродом при КЭШП титановой губки. При легиро-

вании кислородом в первом случае в качестве источника кислорода использовали счистки с крышек аппаратов восстановления титановой губки. Из счисток, изготавливали электроды—«спутники», которые приваривали к основному электроду, прессованному из титановой губки марки ТГ-110. Получали слитки титана с содержанием кислорода в диапазоне от 0,044 до 0,40%_{вес}, которые характеризовались равномерным распределением кислорода по сечению слитка. Во втором случае рассматривали возможность использования в качестве кислородсодержащего материала газообразный кислород непосредственно из газовой фазы. В результате наблюдали повышение содержания кислорода в титане с 0,035 до 0,23 %_{вес} при применении губки ТГ-110 и с 0,11 до 0,27 %_{вес} при использовании титана предварительно легированного кислородом. Слитки титана характеризовались хорошей поверхностью и равномерным распределением кислорода по сечению. Для третьего варианта в качестве кислородсодержащего материала применяли порошки диоксида титана TiO_2 микро- (10-15 мкм) и наноразмеров (21 ± 5 нм). Для достижения максимального эффекта легирования, необходим как можно более длительный контакт порошка с жидким титаном. Это достигалось использованием специальной конструкции электрода. Химический анализ полученного металла показал повышение содержания кислорода в титане с 0,035 до 0,73 %_{вес}. В образцах легированных порошками TiO_2 наблюдали увеличение твердости, измельчение дендритов и более развитую микроструктуру игольчатой формы. Наибольший эффект проявлялся при использовании нанопорошка оксида титана запрессованного по оси электрода.

Для легирования титана углеродом использовали микропорошок углерода (с размером частиц 10-15 мкм) и наноуглеродные трубки (с диаметром ~15 нм) помещенные в расходный электрод из титановой губки марки ТГ-100. Полученные слитки характеризовались повышенным содержанием углерода с 0,03 до 0,34 %_{вес}. При этом, судя по результатам проведенных исследований, добавка наноуглеродных трубок приводит увеличению твердости титана с 100 до 200 НВ и резкому измельчению структуры, которая приобретает морфологию корзиночного плетения.

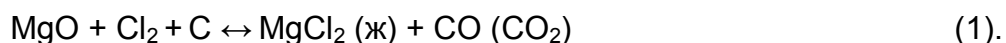
Таким образом, показано, что камерный электрошлаковый переплав позволяет эффективно легировать титан кислородом из газовой фазы или из порошков оксида титана микро- и наноразмера, а также углеродом при использовании микропорошка углерода и наноуглеродных трубок и обеспечивает при этом хорошую химическую и структурную однородность выплавляемых слитков.

С. М. Лупинос, Д. В. Прутцков
ГП «ГНИП Институт титана», Запорожье

О МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Значительная часть металлургических процессов основана на гетерогенных физико-химических взаимодействиях с участием газовых реагентов. Максимальное поглощение газового реагента в аппарате существенно для промышленного оформления технологии, ее эффективности. При разработке технологии на лабораторной стадии важно оценить высоту реакционного слоя шихты или расплава, необходимого для полного использования газового реагента в промышленном аппарате.

Подобная задача решалась нами при исследовании процесса хлорирования суспензии оксида магния в хлоридном солевом расплаве [1], описываемого суммарным уравнением реакции



Процесс имеет диффузионную природу. В промышленном хлораторе анодный хлоргаз подается в нижнюю зону аппарата через фурму. Состав газовых пузырьков, газонасыщение расплава, плотность и состав суспензии характеризуются неоднородностью по высоте расплава. Объемная доля хлора в пузырьке, по мере осуществления процесса, и его продвижения к поверхности расплава, снижается. Поэтому в промышленном аппарате скорость реакции хлорирования и степень использования хлора по высоте расплава являются нестационарными величинами. Их масштабирование на основании кинетических данных, полученных в лабораторном реакторе с высотой расплава 0,1-0,2 м, при переходе к промышленному хлоратору с высотой слоя расплава 3,0-4,0 м, вносит существенную погрешность.

Для устранения погрешности расчетов, вызванной изменением объемной доли хлора, нами разработана экспериментальная методика определения высоты столба расплава (h), необходимого для полного поглощения газа в расплаве, названная методом убывающих концентраций.

Условия экспериментов: массовая доля MgO в расплаве 5,0-8,0 %; углеродный модуль (C / MgO) = 0,4; газовая нагрузка $23 \text{ нм}^3 / \text{ч} \cdot \text{м}^2$ ($40 \text{ дм}^3 / \text{ч}$); высота расплава в реакторе – 100 мм, температура 1073 К. Хлор и аргон использовали баллонный, расход поддерживали реометрическим методом. Содержание

хлора в отходящих газах определяли объемным методом путем поглощения раствором КJ.

В соответствии с методикой, порядок опытов был таким. Первый опыт вели при хлорировании суспензии чистым хлором и определяли содержание хлора в отходящих газах. Эта объемная доля хлора становилась исходной для ведения второго опыта, а остаток компенсировали аргоном. Каждый последующий эксперимент сопровождался снижением содержания хлора в соответствии с анализами и соответствующим ростом содержания аргона в подаваемых реакционных газах. При проведении опытов в области низких концентраций Cl_2 (ниже 10 % объемн.) исходную газовую смесь предварительно готовили в газометре. Высоту расплава, соответствующую полученному содержанию Cl_2 , определяли суммированием по числу экспериментов.

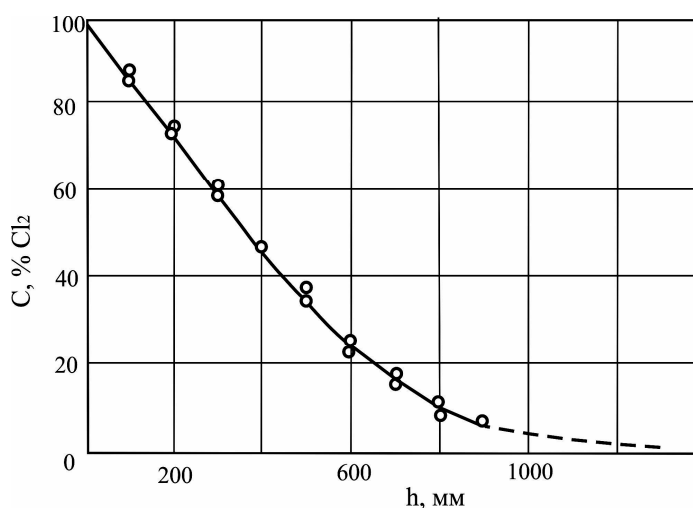


Рис.1 – Содержание Cl_2 (C) в отходящих газах от высоты столба расплава (h)

В ходе экспериментов показано, что при h расплава 1200 мм, содержание хлора в отходящих газах снижается до 1%, дальнейший ход кривой был определен путем экстраполяции (рис.1). На основании предложенной методики установлено, что в исследуемом процессе, при h расплава 1500 мм возможно полное поглощение хлора (в отходящих газах содержание $\text{Cl}_2 = 0,1$ %). Это позволит понизить удельный расход хлора и сократить затраты на газоочистку в разрабатываемой технологии.

Список литературы

1. Лупинос С.М. Разработка технологии получения хлормagneйных расплавов из природного карбоната магния / С.М. Лупинос, Д.В. Прутцов, А.Н. Петрунько // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010, № 4(262). – С. 98-102.

ВОССТАНОВИТЕЛЬНО – ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ОТХО- ДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Рациональное использование потенциала полезных свойств техногенных отходов различных производств, включая его сырьевую, энергетическую и другие составляющие, является одним из наиболее эффективных направлений интенсивного развития экологически чистых процессов производства металлов. Рецикл отходов основных металлургических процессов, по способу [1] заключается в проведении комплексной тепловой их обработки совместно с отходами растительного происхождения. Диапазон свойств полученных материалов целевого назначения в этом способе обосновывается выбором состава, соотношений исходных компонентов и условий проведения процесса обжига. Анализ результатов исследовательских работ, проведенных кафедрой теории металлургических процессов и физической химии НМетАУ в лабораторных и промышленных условиях, свидетельствуют об экономической, технологической и экологической эффективности применения в основных металлургических процессах материалов целевого назначения, полученных путем проведения совместного обжига смесей на основе отходов растительного происхождения и ряда техногенных отходов металлургии [2,3]. В качестве отходов металлургии могут быть использованы трудно утилизируемые шламы и пыли газоочистки сталеплавильных цехов. В качестве углеродсодержащего материала – отходы растительного происхождения и их переработки. В процессе получения целевых продуктов углеродсодержащий отход растительного происхождения, проходя стадию пиролиза, выполняет функции восстановителя, регулятора свойств рабочей атмосферы агрегата и, частично, топлива. Назначение конечного продукта определяется количеством и соотношением исходных компонентов, а также режимом их термообработки. Одной из наиболее эффективной, из ранее предлагаемых схем проведения совместного обжига исходных компонентов, является схема с прямоточно-противоточным режимом работы обжиговой печи [4. По этой схеме тепловая энергия отходящих газообразных продуктов, образующихся при горении летучих, только частично используется в процессе

производства защитных смесей для изоляции зеркала жидкого металла в изложнице, ковшах и в кристаллизаторе МНЛЗ. Целью данной работы является разработка рациональной технологической схемы получения материалов целевого назначения на основе техногенных отходов с более полным использованием их вторичных ресурсов сырья и энергии. Это достигается высокотемпературным пиролизом отходов растительного происхождения в смеси с компонентами, определяющими свойства и назначения готового продукта; проведением низкотемпературного пиролиза только одного компонента – отхода растительного происхождения с получением активного углеродсодержащего восстановителя или альтернативного топлива

С использованием ряда техногенных отходов получены следующие опытные материалы: ШОС для десульфурации стали, содержащая 9,2 % С; 70,8 % CaO, 5,6 % FeO и 14,4 % SiO₂; продукт пиролиза отхода растительного происхождения, содержащий 92,7 % углерода. Экспериментально установлено, что изолирование высокотемпературных продуктов сгорания летучих, образующихся в реакторе в атмосфере с коэффициентом избытка кислорода $\alpha = (0,8 \div 0,9)$, от потока низкотемпературных пирогазов (25 ÷ 30 % CO, % 15 ÷ 17 % CH₄, ~ 50% H₂ и 2 ÷ 4 % CO₂), позволяет, используя эту часть горючих пирогазов в качестве дополнительного источника топлива, существенно, до 50 – 100 %, снизить расход газообразного топлива на процесс высокотемпературного получения материалов и приблизить работу агрегата к автогенному режиму.

Список литературы

1. Патент на винахід України, № 95743 «Спосіб отримання комплексних вуглецьмісних шлакоутворюючих матеріалів багатоцільового призначення» / Камкіна Л.В., Мішалкін А.П., Стовба Я.В., Перескока В.В. – 2011. – Бюл. № 9.
2. Мешалкин А.П., Перескока В.В., Власенко В.М., Камкин В.П. Совершенствование шлакообразования в сталеплавильных процессах путем применения подготовленных техногенных отходов. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології», 2011. - випуск 3 (74). — С. 3 – 9. — Дніпропетровськ.
3. Мешалкин А.П., Колбин Н.А., Гришин А.М. и др. Энергоресурсосберегающие технологии получения и применения порошкообразных материалов заданных свойств в черной металлургии /Бюлетень «Черная металлургия». – 2009. – С. 76-78.

ХОЛОДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРУЙ ГАЗА С ЖИДКОЙ ВАННОЙ

Существенная роль в конвертировании принадлежит процессам взаимодействия дутья с ванной. Эти процессы определяют интенсивность тепло-массопереноса в объеме ванны, приводят к изменению гидродинамического состояния и скорости ее перемешивания, контролируют динамику выбросов, и особенности формирования шлака, износ огнеупорной футеровки и др. Накопление и обобщение экспериментальных данных по перемешиванию ванны, продуваемой газообразными струями, может служить основой для оптимизации существующих и разработки новых технологий производства стали. На кафедре ТМП и ОХ НМетАУ проведены обширные исследования по изучению влияния различных способов подвода дутья и размещения продувочных устройств на гидродинамику и перемешивание ванны конвертера, мартеновской печи и сталеразливочного ковша с использованием холодного моделирования процессов на масштабных моделях. На основании анализа экспериментальных данных уточнен механизм и установлены особенности взаимодействия затопленных струй неассимилируемого газа с жидкой ванной при изменении интенсивности дутья для различных способов подвода дутья и размещения продувочных устройств. Определены характерные структуры циркуляционных потоков, проведено сравнение эффективности смешения ванны при различных режимах взаимодействия дутья с ванной и способах ее продувки, включая комбинированные. Показано, что схема циркуляционных потоков, существенно влияющая на эффективность смешения ванны, при верхне-донной комбинированной продувке является наиболее совершенной. С использованием экспериментальных значений времени полного смешения конвертерной ванны для различных вариантов продувки оценены величины эффективных коэффициентов диффузии вещества в жидкой ванне E_3 , которые характеризуют суммарное распределение вещества за счет конвекции и турбулентных пульсаций.

Показано, что для условий выплавки стали в двухванной мартеновской печи наиболее эффективной является применение комбинированной продувки с

подачей основного кислородного дутья ($\sim 80\%$ от общего) сверху через три сводовые фурмы и дополнительного – через три донные продувочных модуля навстречу зонам барботажа верхней продувки. Для повышения интенсивности продувки мартеновской ванны целесообразно увеличить высоту свободного пространства над уровнем спокойной ванны и глубину ванны до величин, характерных для кислородных конвертеров.

В конвертерах с верхней продувкой с целью увеличения эффекта перемешивания ванны рекомендуется использовать «жесткое» затопленное дутье, обеспечивающее проникновение струйного участка на $(0,70 \div 0,80)H_B$, что увеличивает максимально возможную глубину всплывания газовых пузырей. В конвертерах с донной продувкой ограничивать длины струйных участков газовых потоков для обеспечения максимально возможной глубины всплывания газовых пузырей, с размещением дутьевых устройств по радиусу с максимальным его значением $r_{\phi} = (0,5 \div 0,6)r_{\text{днища}}$. При этом максимально допустимая интенсивность дутья на одно сопло ограничивается явлением «прострела», при котором значительно увеличиваются потери металла с выбросами жидкой фазы за пределы конвертера и уменьшается степень использования кинетической энергии. Обеспечивать максимально возможную степень рассредоточения верхнего или донного дутья в объеме ванны с исключением слияния струйных участков индивидуальных газо-жидкостных потоков. В конвертерах комбинированного дутья максимально возможная эффективность перемешивания ванны достигается при подаче основного дутья сверху и дополнительного снизу симметрично-рассредоточено и с обязательной подачей 8 -10% соосно навстречу верхнему дутью. Реализация в этом способе встречной продувки с изменением соотношений интенсивности верхнего и донного дутья, определяет технологическую гибкость, которая проявляется в возможности управления распределением окислительного потенциала в объеме ванны.

Результаты, полученные при холодном моделировании процессов и явлений в агрегатах с продувкой ванны газовыми струями, носят, в основном, качественный характер, отражая, при этом, основные физические закономерности исследуемого процесса и в дальнейшем сокращают объемы исследований в натурных условиях на высокотемпературных моделях сталеплавильных агрегатов с продувкой ванны окислительными струями газа.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВВОДА АКТИВНЫХ РЕАГЕНТОВ В РАСПЛАВ

В настоящее время широкое распространение получают небольшие производственные объединения – “мини заводы”. Это связано в первую очередь с конъюнктурными преобразованиями рынка. Таким образом в условиях рыночной экономики значительную роль на рынке спроса играют представители мелкого и среднего бизнеса которые заказывают продукцию мелкими партиями. В таких условиях существующие металлургические предприятия не могут удовлетворить требований данного сегмента рынка, поскольку количество произведенного металла за одну плавку определяется садкой металлургического агрегата.

Учитывая тот факт, что для мелких производств полноценные линии по внепечной обработке являются очень дорогостоящими, то единственным выходом из сложившейся ситуации является применение устройств типа “колокол-испоритель”. При помощи них в объём металлического расплава вводятся рафинирующие и легирующие материалы, которые взаимодействуя с расплавом испаряются. Существующие устройства данного типа отличаются низкой эффективностью процесса рафинирования.

Для улучшения степени усвоения активных реагентов было разработано устройство, которое состоит из соединённых посредством разъёмного соединения штанги и камеры для реагентов. При этом камера для реагентов образованная отдельными сегментами-лепестками, которые расположены на расстоянии 0,5 – 2 мм один от другого и имеет форму шара диаметром 0,08 – 0,15 от диаметра ёмкости для проведения обработки. Эскиз устройства приведен на рис. 1.

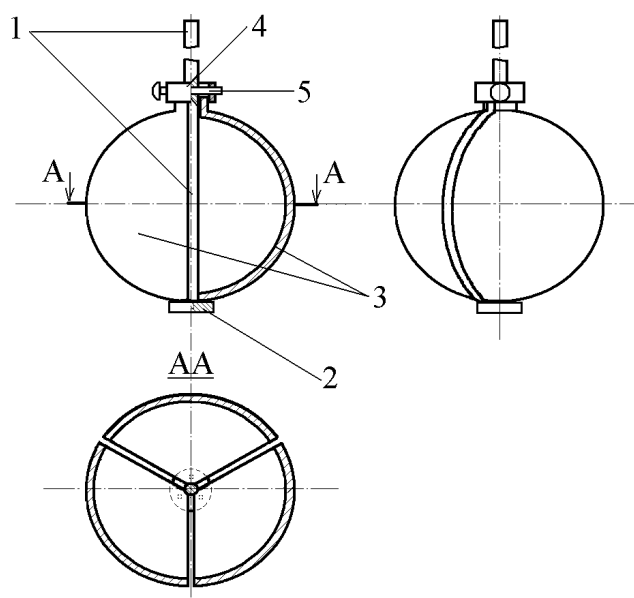


Рис. 1 – Эскиз устройства для ввода активных реагентов в расплав:

1 – штанга; 2 – ограничительный упор; 3 – камера для ввода реагентов, которая имеет форму шара и состоит из сегментов-лепестков; 4 – ограничительное кольцо; 5 – фиксатор

Для проверки эффективности была проведена лабораторная апробация данного устройства, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты апробации устройства для ввода активных реагентов в расплав

Вариант обработки	Количество обрабатываемого чугуна, кг	Содержание серы в чугуне, %		Затраты магния, кг/т чугуна	Степень усвоения магния, %
		до обработки	после обработки		
Разработанное устройство	0,6	0,020	0,010	0,3	25
Используемое устройство для обработки расплава активными реагентами	0,6	0,020	0,016	0,3	10

Выводы

- 1) Разработанно устройство для ввода активных реагентов в расплав, отличающееся более высокими степенями усвоения активного реагента расплавом.

ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ МЕТАЛЛУРГИИ И НЕКОТОРЫЕ РЕШЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Интерес к вторичному сырью и решению проблем ресурсосбережения приводит к активному исследованию отвалов и хранилищ техногенных материалов, разработке возможных вариантов их подготовки с последующей переработкой. На долю черной металлургии приходится около 3,6 млрд.т. твердых отходов промышленного производства, из которых 3 млрд.т. составляют вторичные материалы железорудных предприятиях, образованных при попутном добывании сырья. Так, отходы горнодобывающих предприятий условно можно разделить на три основные группы: крупнотоннажные вскрышные породы (в большом количестве накоплены в Днепропетровской, Полтавской, Кировоградской и др.), вмещающие породы и отходы обогащения железных руд, которые представляют собой кварцево-железистое сырье насыпной плотностью 1060...1700 кг/м³ в зависимости от содержания железорудных минералов.

Лежалые хвосты Валявкинского хранилища характеризуются довольно простым минеральным составом, в котором преобладают гематит и кварц, а магнетит и гидроксид железа находятся в меньшем количестве. Значительная часть минералов находится в сростках. Наиболее распространенные сростки кварца с гематитом и магнетитом. Вскрышные породы представлены, в основном, окисленными железистыми кварцитами. Главный железосодержащий минерал в них - гематит. Нерудные минералы железистых кварцитов представлены кварцем и силикатами железа. Кварциты представляют собой слоистые породы с рудными, смешанными и нерудными пластами. Такой состав отходов позволяет сделать допущение о возможности их применение в металлургическом переделе в качестве железосодержащих и кремнийсодержащих составных шихтовых материалов.

Известно, что оксиды железа легко восстанавливаются как углеродом и его монооксидом, так и SiO, кремнием и его карбидом. Восстановление оксидов железа и его силикатов завершается при $T \ll 1500 \text{ K}$, что свидетельствует о их нестойкости. Практически невозможно и взаимодействие железа с SiO₂. При

температурах производства устойчивы только растворы кремния в железе и силициды FeSi и Fe_2Si_5 . Силициды железа легкоплавкие и в жидком состоянии полностью взаиморастворимы. Физико-химические свойства таких расплавов меняются сравнительно монотонно и зависят только от концентрации кремния и температуры. Во всем диапазоне концентраций их можно характеризовать активностью кремния.

Проведена оценка получения железосилицида (по составу близкому к низкокремнистому ферросилициду) с использованием вскрышных пород и концентрата из хвостов обогащения на основе расчета материального баланса и термодинамического моделирования поведения компонентов в восстановительных условиях при получении заданного полупродукта. Во время взаимодействия компонентов шихты при нагревании углерод и кремний реагируют между собой с образованием карбида кремния. Образующийся при этом карбид кремния при контакте с промежуточными железистыми шлаками восстанавливает железо.

При исследовании процессов совместного восстановления вскрышной породы и магнетитового концентрата «хвостов» обогащения в интервале температур 1000-1800°C выделены области температур, соответствующие поэтапному развитию процесса получения ферросилиция. Первые частицы сплава образуются при 1200°C и при дальнейшем увеличении температуры происходит перераспределение элементов железа и кремния в соединениях Fe_3Si – FeSi – Fe_5Si_3 , в шлаковую фазу переходят образованные при процессе восстановления сложные соединения (CaFeSiO_4 , FeSiO_3).

Значительное содержание железа в хвостах обогащения позволяет получить концентрат с массовой долей железа – от 66,51 до 67,46%, а содержащийся во вскрышной породе SiO_2 (15 ÷ 45%) представляет интерес для возврата в производство в качестве кремнийсодержащего компонента шихты при получении ферросилиция. Целесообразно использования вскрышной породы и «хвостов» обогащения в качестве заменителей кварцита и железной стружки при получении низкокремнистого ферросилиция. Показано, что полученный сплав содержит минимальное количество примесей (марганца, серы) и незагрязнен другими цветными металлами (титаном, медью, хромом) как при использовании железной стружки. При этом отмечено увеличение расхода коксика.

**Ю. С. Пройдак, И. В. Деревянченко, Л. В. Камкина, А. П. Стовпченко,
А. Г. Безшкуренко, Ю. Н. Грищенко**

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАЗЛИ- ВАЕМОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА МНЛЗ

На протяжении многих лет одной из важнейших проблем непрерывной разливки стали является борьба с затягиванием сечения канала стакана-дозатора неметаллическими включениями. Это приводит к уменьшению эффективного сечения канала, ограничению количества металла, разливаемого через один ручей, полному прерыванию процесса, снижению качества заготовки. Анализ публикаций, связанных с затягиванием канала стакана-дозатора показывает, что авторы, в основном, предлагают решать данную проблему путем применения новых огнеупорных материалов, а также технологических приемов, снижающих вторичное окисление разливаемого металла на различных этапах непрерывной разливки.

Проанализирован массив плавов высокоуглеродистых марок сталей, выплавленных в ДСП-2 ЭСПЦ ММЗ по технологическим схемам: ДСП - VD - УКП - МНЛЗ, ДСП - УКП - VD - МНЛЗ и ДСП - УКП - МНЛЗ. В 45 % разлитых плавов высокоуглеродистого металла отмечена пониженная разливаемость стали, что связано с настыеобразованием на внутренней поверхности стаканов-дозаторов промковша. Это приводило к снижению скорости разливки и требовало проведения различных технологических мероприятий по устранению указанного негативного фактора. Для его устранения и стабилизации скоростных показателей разливки использовали кратковременное снятие защитных огнеупорных труб на участке стальнойковш – промковш или промывку стаканов-дозаторов промковша кислородом. Эти мероприятия, не регламентированные технологической инструкцией, могут быть причиной увеличения поверхностных дефектов заготовки. Случаи применения кислорода при разливке сталей высокоуглеродистого сортамента составили ~ 30 % от общего количества разлитых плавов.

Выполнен анализ основных технологических показателей внепечной обработки и разливки 73 плавов высокоуглеродистой стали марки 70. Весь массив данных был разбит на 3 группы с учетом их разливаемости на МНЛЗ, в т.ч.: 1-я группа – стабильный процесс разливки металла на МНЛЗ; 2-я группа – незначи-

тельные отклонения процесса разливки стали; 3-я группа – пониженная разливаемость стали и случаи использования кислорода. Установлена зависимость стабильности процесса разливки от: суммарного расхода материалов (присаженных на УКП для корректировки химического состава); степени усвоения кремния из ферросплавов; температурного режима внепечной обработки и разливки стали; содержания алюминия (общего, кислоторастворимого и нерастворимого) в стали; содержания кальция в непрерывнолитой заготовке; отношения $[Ca]/[Al]_{\text{общ.}}$; отношения $[Ca]/[Al]_{\text{раств.}}$; отношения $[Ca]/[Al]_{\text{нестр.}}$; отношения $[Al]_{\text{общ.}}/[Ca]$; отношения $[Ca]/[S]$; отношения $[Mn]/[Si]$; продолжительности мягкого перемешивания металла аргоном в ковше после ввода кальция содержащей проволоки. Установлено, что из всех проанализированных факторов к числу оказывающих влияние на разливаемость металла можно отнести: содержание кальция в металле (прирост содержания кальция по группам разливаемости – 0,0010 %, 0,0011 % и 0,0014 %); отношение $[Ca]/[Al]_{\text{общ.}}$ (динамика роста данного показателя по группам разливаемости составила – 0,42; 0,45 и 0,56); отношение $[Ca]/[S]$ (для 1-й группы разливаемости характерна более высокая величина 0,37; для прочих 2-х групп данный показатель составляет 0,30 и 0,33); степень усвоения кальция (динамика роста степени усвоения кальция в металл по группам разливаемости – 10%, 11% и 15%); отношение $[Ca]/[Al]_{\text{раств.}}$ (для 3-й группы характерно более высокое отношение показателя – 1,16, для 1-й и 2-й групп данный параметр составил – 0,72 и 0,60).

Влияние суммарного расхода материалов на УКП для корректировки химического состава, температурного режима внепечной обработки и разливки стали, содержания в стали $Al_{\text{общ.}}$, $Al_{\text{раств.}}$, $Al_{\text{нестр.}}$, отношения $[Mn]/[Si]$, длительности от момента ввода последней порции проволоки с кальциевым наполнителем до начала разливки стали на МНЛЗ не выявлено. Случаи использования кислорода, как правило, фиксировались при разливке третьей и последующих за ними плавов в серии.

Средний уровень содержания общего кислорода в высокоуглеродистом металле довольно низкий. В начале внепечной обработки (после наведения рафинирующего шлака) его величина составляет 33 ppm. Отмечен также прирост содержания общего кислорода в пробах с МНЛЗ. В среднем увеличение общего кислорода во второй пробе по отношению к первой – 0,0006%. Возможными причинами определенной динамики прироста кислорода могут быть – оголение зеркала металла промковша из-за размытия

теплоизолирующей засыпки, неплотности стыка защитной трубы и удлиненного коллектора стальной, перекосы защитной трубы при ее установке, неоптимальный расход аргона подаваемого в полость защитной трубы.

УДК 621.74

Е. В. Синегин, Б. М. Бойченко, В. Г. Герасименко, Л. С. Молчанов

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОБОСНОВАНИЕ ЧИСЕЛ ПОДОБИЯ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОХОЛОДИЛЬНИКОВ С ЖИДКИМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ РАСПЛАВАМИ В ПРЕДКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

Постановка проблемы. Моделирование процессов, сопровождающих разливку и кристаллизацию стали, значительно упрощается и удешевляется, если вместо жидкой стали использовать легкоплавкие металлы, поскольку процессы формирования макроструктуры всех металлов и сплавов имеют одинаковую природу и могут быть описаны одними параметрами [1-3].

По результатам работ [3,4-7] выбраны основные факторы и параметры, определяющие процесс кристаллизации стали: коэффициент теплоотдачи α , перепад температур ΔT , теплопроводность λ , плотность ρ , теплота кристаллизации L , линейный размер l , удельная теплоёмкость c , скорость w , кинематическая вязкость ν и коэффициент диффузии примеси D . Нахождение показателей степеней величин в полученных безразмерных комплексах осуществлялось по методике [8] решением системы линейных уравнений в программе Mathcad 2000 Professional.

Выполнив несложные преобразования, получаем критерии Био, критерий фазового перехода, число Шмидта, число Пекле. Роль функционального критерия играет безразмерный симплекс $R = \delta/r$, показывающий отношение толщины δ макроструктурной зоны заготовки к её радиусу r .

Ввод в кристаллизующийся расплав инокулятора из материала матрицы сопровождается «намерзанием» на него тонкого слоя металла, который после нагрева до температуры кристаллизации плавится вместе с самим инокулятором, снимая переохлаждение расплава. Тогда при диаметре частицы менее критического ($d < d_{кр}$) он будет полностью расплавляться, снижая перегрев

расплава. Нахождение искомого критического диаметра осуществляется из дифференциального уравнения, полученного в работе [9] при начальном условии $\tau = \tau_{затв}$ ($T_{затв}$ – время полного затвердевания заготовки). Для описания остаточного диаметра частички вводим линейный симплекс $\Delta = d/d_{кр}$.

Выводы. Проведен расчёт чисел подобия для моделирования процесса формирования макроструктуры непрерывнолитой заготовки при суспензионной разливке. Обосновано использование для этой цели комплексов Био, Шмидта, Пекле, критерия фазового перехода, а также линейных симплексов R и Δ .

Список литературы

1. Борисов В.Т., Виноградов В.В., Тяжельникова И.Л., Уразов Р.А. Математическое описание кристаллизации слитка с учётом фазовых превращений // Непрерывное литьё стали: Тематический отраслевой сборник №3. – М.: Metallurgy, 1976. – С. 6-25.
2. Чалмерс Б. Физическое металловедение. Пер. с англ. В.А. Алексеева, В.К. Григоровича / Под ред. А.К. Натансона. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии, 1963. – 456 с.
3. Флемингс М. Процессы затвердевания. Пер. с англ. В.Н. Виноградова и др. – М.: Мир, 1977. – 424 с.
4. Акименко А.Д., Скворцов А.А., Сидоров С.П. Исследование затвердевания стальных слитков на физических моделях // Непрерывное литьё стали: Тематический отраслевой сборник №3. – М.: Metallurgy, 1976. – С. 30-35.
5. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. – Ленинград-М.: Государственное энергетическое издательство, 1958. – 416 с.
6. Оно А. Затвердевание металлов. Пер. с англ. Э.В. Захарченко / Под ред. В.А. Ефимова. – М.: Metallurgy, 1980. – 152 с.
7. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. – М.: Metallurgy, 1976. – 552 с.
8. Румянцев В.Д. Теория тепло- и массообмена: Учебное пособие. – Днепропетровск: Пороги, 2006. – 532 с.
9. Мочалов А.А., Гайша А.А., Шаповал Н.А. Математическая модель физических процессов кристаллизации слитков и сварных швов при наличии микрохолодильников // Сб. науч. трудов НУК. – Николаев: НУК, 2008. – №6. – С. 76-80.

УТИЛИЗАЦИЯ ЖЕЛЕЗА КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАКОВ ПРИ ОКИСЛИ- ТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ВОДОРОДА

Современное металлургическое производство стали реализуется с участием двух агрегатов – доменная печь и конвертер. При этом потребляется большое количество ископаемого углеродсодержащего топлива, что сопровождается выбросами значительного количества парниковых газов, и является насущным вопросом для разработки экологически чистых производств чугуна и стали. Образующиеся газы и побочные продукты должны перерабатываться наиболее полно. Огромный потенциал тепловой энергии, генерируемый в этих процессах в виде теплоты отходящих газов, теплоты расплавленной стали и шлака, неорганизованные потери теплоты используются не в полной мере, а рассеиваются в атмосферу. Известны разработки, направленные на утилизацию теплоты различных процессов, однако до практической реализации они не были доведены.

В процессе производства стали используются флюсы для создания шлаков определенной основности и имеют температуру на выпуске 1873 - 1923К. Сталеплавильный шлак содержит существенное количество металлического железа. Исследования показывают, что около 8% по массе магнитного продукта может быть извлечено из шлака. Методы извлечения металлического железа из шлака известны и широко применяются. Кроме того, сталеплавильный шлак содержит значительную концентрацию FeO (20 - 30%, поэтому возникает задача доизвлечения железа из немагнитной оксидной фазы вюстита путем перевода в магнитную фазу. Расчет энергии Гиббса показывает, что при взаимодействии с парами воды в температурном диапазоне 700 - 800К термодинамически возможна реакция окисления мелких корочек металлического железа, доокисление вюстита до магнетита. Окисление магнетита в гематит термодинамически невозможно в отсутствии кислорода. Чтобы избежать потерь легко извлекаемого металлического железа, целесообразно рассмотреть вопрос о дроблении и охлаждении шлака по крайней мере, ниже точки Кюри, с тем чтобы обеспечить извлечение металлического железа. Прогнозируемый выход водо-

рода в реакции окисления вюстита парами воды делает привлекательным данный процесс для получения дополнительного количества восстановительного газа. При этом снижаются потери железа со шлаком. Термодинамика фазовых равновесий в системе $\text{Fe}_{1-y}\text{O}-\text{Fe}_3\text{O}_4-\text{H}_2-\text{H}_2\text{O}$ была детально изучена и обобщена в монографии [1]. Показано, что в условиях равновесия, выход водорода увеличивается с уменьшением температуры. Однако, оптимальная температура процесса получения водорода является компромиссом термодинамики и кинетики реакции. Исследования [2] показали, что для реакции взаимодействия вюстита с парами воды коэффициент конверсии паров растет с 30% до 80%, при увеличении температуры от 480 до 575°C (753 до 848 K). В случае использования сталеплавильного шлака возможна реакция взаимодействия паров воды с оксидом кальция, формирование гидроксида кальция и снижение эффективности процесса. Термодинамически оптимальный температурный диапазон для окислительно-восстановительной обработки конвертерного шлака составляет 805 - 987K. При этом взаимодействие паров воды с FeO возможно, в то время как гидроксид кальция не образуется. Температурный диапазон от 601 до 805K является менее предпочтительным, так как возможно образование гидроксида кальция. Оптимальная в этом диапазоне температура находится чуть ниже точки Кюри для железа (1043 K) и, следовательно, разделение металлического железа возможно без кинетических затруднений реакции взаимодействия с парами воды. Таким образом, термодинамические расчеты по программе FactSage 6.2 показали обоснованность процесса использования FeO и теплоты сталеплавильных шлаков для получения водорода. Показано, что FeO в конвертерном шлаке и H_2O газа взаимодействуют с получением H_2 . Увеличение температуры газа до оптимальных значений и содержания FeO в шлаке позволит увеличить произведенное количество водорода.

Список литературы

1. Л. Богданди, Г. Ю. Энгель: Восстановление железных руд / Пер. с нем./ Под ред. А.Н. Похвиснева. – М.: Металлургия, 1971. – 520 с.
2. Б.И. Бондаренко. Восстановление окислов металлов в сложных газовых системах. Киев: Наукова думка, 1980. – 386 с.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ДОМЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ И ШЛАКОВОЗНЫХ ЧАШ

С целью усовершенствования существующей технологии литья для металлургической промышленности – сталеразливочных изложниц, шлаковозных чаш и доменных холодильников (рис.1) была проведена серия модельных компьютерных экспериментов с использованием комплекса пакетов программ SolidWorks – LVMFlow.

В данной работе приведены результаты моделирования доменных холодильников. Габаритные размеры отливки 2000 x 1000 x 300 мм. Материал - СЧ - 20, змеевик изготовлен из стали 25Л. На первом этапе воссоздали отливку со стандартным выпором с диаметрами оснований 120 мм и 140 мм.

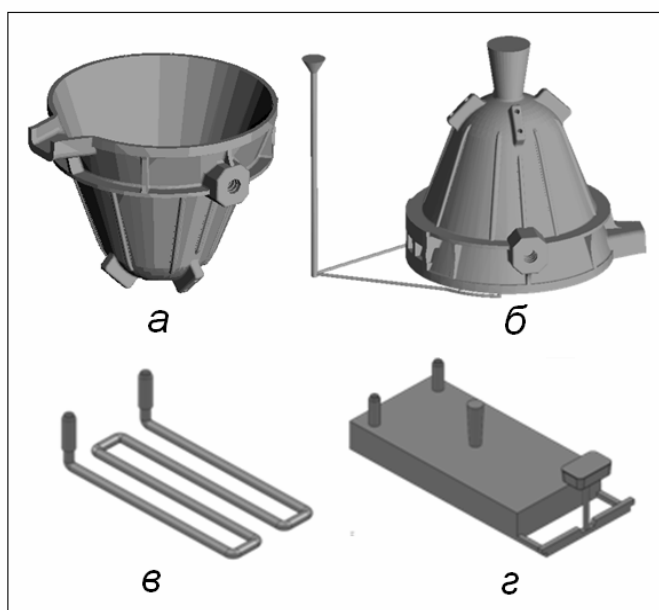


Рис. 1 – Общий вид модели шлаковозной чаши (а) и положение ее при заливке (б); модель змеевика (в) для модели доменного холодильника (г)

Результаты эксперимента показали, что усадочные дефекты располагаются над стальным змеевиком (рис. 2, а). В отливке, заливкой с боковым питающим выпором, расположенным под углом 25° относительно нижнего основания, дефекты также расположены в зоне стального змеевика. Этот вариант не дал никаких преимуществ в сравнении с обычной технологией (рис. 2, б).

Использование двух питающих выпоров в местах наибольшего сосредоточения усадочных дефектов с целью их большей локализации также оказалось недостаточно эффективным (рис. 2, в). Применение небольших закрытых прибылей, хотя и дает незначительные преимущества по сравнению с вариантами, рассмотренными выше, также оказалось мало приемлемым. При этом

удалось установить, что расположение небольших прибылей на отливке большим основанием вверх или вниз не оказывает заметного влияния на расположение усадочных дефектов (рис. 2, а).

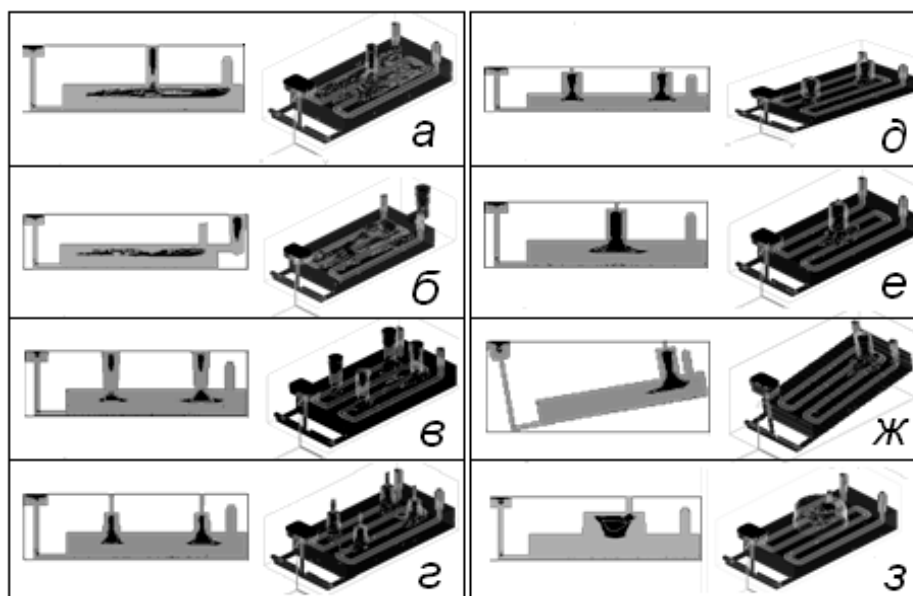


Рис. 2 – Последовательные этапы моделирования технологии литья (а – з)

Уменьшение количества прибылей и использование экзотермических втулок, также оказалось нецелесообразным (рис. 2, б). Изменение состава формовочной смеси также не обеспечило ожидаемого эффекта. Это дает основания предполагать, что выявляемые в процессе моделирования дефекты в отливке являются преимущественно дефектами газового происхождения (рис. 2, в). Подъемом части формы со стороны литниковой системы на 10° предотвращает образование ужимин в верхней части формы и способствует выводу дефектов из основной части отливки (рис. 2, ж) и обеспечивает хороший результат (рис. 2, з). Использование массивных прибылей также дает положительный эффект. Однако такой вариант усложняет технологию, т.к. массивная прибель трудно отделима от отливки без риска повреждения ее в зоне расположения змеевика.

В результате компьютерного моделирования различных вариантов технологического процесса литья холодильных плит найдено наиболее приемлемое решение для последующего более детального исследования.

МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ШИХТЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МАРГАНЦЕВОГО АГЛОМЕРАТА

В процессах получения металлов из их оксидов при взаимодействии с углеродистым восстановителем скорости восстановления в значительной степени зависят от реакционной способности восстановителя, которая является максимальной при использовании древесного угля и уменьшается при переходе к графиту. Большое влияние на ускорение процессов восстановления оказывает вид углеродистого восстановителя. Его реакционную способность определяет упорядоченность молекулярной структуры и величины доступной удельной поверхности, связанной с макро- и микропористостью, наличием переходных пор как основных транспортных каналов [1]. Изменение восстановительных свойств для разных модификаций кокса связано с наличием и пропорциями основных форм и переходных структур, качественной и количественной взаимосвязью их с геометрией пористого строения, что имеет значение в процессах углеродотермического восстановления ряда оксидов или их смесей при получении металлов и сплавов.

Одним из способов интенсификации физико-химических процессов является активация измельчением или механоактивация. Под действием механических взаимодействий происходит изменение реакционной способности реагирующих твердых веществ. При механохимической активации угольного вещества, наряду с увеличением удельной поверхности существенно изменяются физико-химические свойства угольного вещества в целом. Процесс механохимической активации углей можно рассматривать как измельчение, приводящее к увеличению удельной поверхности и вскрытию недоступных ранее пор. Процессы механодеструкции, происходящие при диспергировании углей, обуславливают создание на вновь образующейся поверхности различных по своей природе активных центров. Их количество может определять степень активации углей, что будет приводить к изменению реакционной способности механообработанных углей при их использовании в различных химических процессах.

Химическое взаимодействие между твердым оксидом и углеродистым восстановителем происходит не по всему объему реагирующих веществ и не по

всей их поверхности, а на контактах частиц [2]. Исходя из этого, число контактов между реагирующими веществами и их площадь имеют решающее значение для начальной стадии твердофазного процесса. Следует учесть не только влияние измельчения компонентов, но и необходимость тщательного смешивания, исключающего агрегацию частиц одного и того же компонента. Особый интерес представляет механическая активация твердых тел и реакций с их участием в процессах получения шихтовых материалов для последующего использования при получении марганцевого агломерата. Физико-химические закономерности процесса агломерации марганцевых руд связаны с протеканием дегидратации, диссоциации оксидов и карбонатов, окислительно-восстановительных реакций, скорости которых повышаются при рациональном измельчении исходных компонентов. Использование марганцевых железорудных офлюсованных шихт не всегда приводит к получению прочного влагостойкого агломерата, вследствие не полной ассимиляции оксида кальция оксидами марганца и кремния. Это связано с торможением массообмена из-за образования сплошных слоев силикатов кальция. Совместное измельчение и растирание приводит к разрыву этих слоев оксидами железа, а оксид марганца в этом разрыве слабо себя проявляет. Шихтовые материалы, используемые для производства агломерата, содержат различные дефекты, которые определяют их химическую активность и физические свойства. Различие в количестве структурных дефектов определяет параметры процесса агломерации и качество агломерата. С термодинамической точки зрения, изменение величины поверхности зерен в результате измельчения осуществляется за счет увеличения расхода энергии, которая затем реализуется в процессе агломерации. Анализ вероятных соединений в твердом состоянии показывает, что они образуются в результате реакций между железо- и марганецсодержащими оксидами и пустой породой спекаемых материалов. Реакции в твердых фазах при агломерации происходят в зоне подогрева шихты.

Список литературы

1. *В.Г. Мизин, Г.В. Серов.* Углеродистые восстановители для ферросплавов. М.: Металлургия, 1976. 272 с.
2. *П.П. Будников, А.М. Гинстлинг.* Реакции в смесях твердых веществ. М.: Стройиздат. – 1971. – 488 с.

Е. С. Титова

Институт черной металлургии НАН Украины, г. Днепропетровск

ТЕХНОЛОГИИ ВНЕДОМЕННОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА В ПРАКТИКЕ СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ КИТАЯ

Интерес к внедряемым в производство крупнейшими сталелитейными компаниями Китая технологиям внедоменной десульфурации чугуна (ВДЧ) вызван, прежде всего, бесспорным мировым лидерством этой страны не только по объемам и темпам роста производства чугуна и стали, но и успехами в сфере активной реализации средств обессеривания чугуна на этапе подготовки его к конвертерной плавке. Поэтому практика внедрения технологий ВДЧ и результаты, полученные в Китае, могут быть критически проанализированы и эффективно использованы мировой металлургией.

В настоящее время обращение к проблеме ВДЧ ведущими мировыми металлопроизводителями, а также китайскими металлургами обусловлено растущим спросом на высококачественную и низкосернистую сталь и ужесточением требований к содержанию в ней серы, что связано с необходимостью обеспечения коррозионной стойкости и уменьшения анизотропии свойств, прежде всего, листовой стали, предназначенной для строительства трубопроводов, развития корабле- и автомобилестроения и пр.

На современном этапе развития китайской металлургии концепция технологии получения «чистой» стали состоит в необходимости внепечной десульфурации всего предельного чугуна, поскольку именно это звено является «слабым местом» в технологической схеме производства для ряда сталелитейных заводов страны, которые располагают достаточно эффективными средствами внепечной обработки стали. Такая политика успешно осуществляется на практике: в течение последних 5 лет доля чугуна, подвергнутого внедоменной десульфурации, увеличилась на 25% и составила более 280 млн. т. Реализация разработанной концепции осуществляется посредством применения рациональных (с точки зрения обеспечения оптимума: себестоимость - качество) технологий ВДЧ. Это означает, в известной мере, отказ от прежней стратегии, нацеленной на достижение высокой степени десульфурации любой ценой и переход к скрупулезному подсчету издержек производства, что наиболее актуаль-

но в условиях постоянно обостряющейся конкуренции ведущих мировых производителей стальной продукции, особенно активизирующейся в условиях мирового экономического кризиса. Так, если в последние 10-12 лет наибольшее распространение на китайских предприятиях получили установки, обеспечивающие вдувание в расплавленный чугун порошкообразных реагентов, и, прежде всего, магния (в настоящее время их число достигло порядка 190), то в ближайшие 5-7 лет планируется, увеличить темпы ввода в эксплуатацию установок, реализующих KR-процесс ВДЧ – перемешивание с одновременным вводом реагента. (Приводимые доводы в пользу последних состоят, главным образом, в достижении более стабильных результатов, высокой степени десульфурации и наименьшей их стоимости). В 2010г. в Китае было всего 20 установок, реализующих KR-процесс, мощностью 40 млн. т / год., но уже к 2020г. планируется увеличить их количество на 30%. Оптимизация технологий, улучшение оборудования и увеличения длительности эксплуатации установок для KR-процесса состоят в использовании пассивированной извести с добавкой Mg-Al, выбора оптимальной глубины погружения мешалки, опробования донной продувки, применения переменной скорости, оптимизации длительности перемешивания, а также поиска состава материала и усовершенствование конструкции мешалок (трехлопастные импеллеры).

Совершенствование же технологий и установок для вдувания порошкообразных реагентов, которые будут продолжать вводить в эксплуатацию в Китае, осуществляется в направлении оптимизации тепло- и массообменных процессов взаимодействия реагентов с серой и модернизации оборудования (фурма, дозирующая аппаратура, состав реагентов и шлака, системы скачивание шлака и пр.). При этом в качестве десульфуратора, в условиях неустойчивости цен на магний, для удешевления процесса ВДЧ, рекомендовано использовать известь, которая дешевле его в 20 раз (на 2010г.).

Стратегия разработки инновационных технологий на ближайшую перспективу, принятая на вооружение китайскими учеными, состоит в создании новых и усовершенствовании известных способов и отдельных элементов имеющихся установок, а также активизации сотрудничества с ведущими мировыми фирмами – создателями технологий и оборудования для ВДЧ.

ВНЕДОМЕННАЯ ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ ЧУГУНА В СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ ВЕДУЩИХ МИРОВЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕТАЛЛОПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

В условиях рыночной экономики и обострившегося экономического кризиса актуальность создания технологий внедоменной десульфурации чугуна (ВДЧ) в практике современной металлургии обусловлена необходимостью производства конкурентоспособной металлопродукции, что предполагает повышение требований к ее качеству и себестоимости, вызванных постоянно увеличивающимся спросом потребителей на высококачественную и низкосернистую сталь. Стратегия производства таких марок стали ведущими мировыми производителями предусматривает дальнейшее совершенствование сквозной технологической схемы производства металлопродукции и, в частности, введение в нее одного из важнейших звеньев – ВДЧ. При этом в практике современных металлургических комбинатов (МК) полного металлургического цикла реализуются два подхода к производству стальной продукции: первый – дифференцированный подход, в основу которого положены требования к содержанию серы в конечной металлопродукции, что предполагает разработку гибких технологических схем производства, в т.ч., с использованием средств внепечной обработки стали (ВОС); и второй – состоящий в обязательной десульфурации 100% производимого чугуна. Первый подход целесообразно использовать предприятиям, не располагающим полным комплексом средств ВДЧ и ВОС, а также в марочном сортаменте которых присутствует только определенная доля высококачественной и низкосернистой стали. Вторым подходом – для производителей, сортамент продукции которых полностью состоит из высококачественной стали и десульфурация которой осуществляется на всех этапах технологической схемы ее производства. Отсутствие средств ВДЧ в практике работы большинства отечественных экспортно-ориентированных предприятий не способствует выпуску ими конкурентоспособной металлопродукции и вынуждает занимать, соответственно, более низкую нишу на мировом рынке сбыта металлопродукции. В соответствии с этим основная задача отечественной металлургии на современном

этапе развития, состоящая в поиске средств снижения себестоимости выпускаемой металлопродукции при сохранении уровня требуемых свойств для конкретного марочного сортамента стали, может быть частично решена посредством изменения технологической схемы производства за счет введения в эксплуатацию установок ВДЧ.

В настоящее время только три из всех отечественных предприятий полного металлургического цикла используют установки ВДЧ. В то же время о своем намерении приобрести их заявили многие, а на ПАО «ДМКД» уже приняты конкретные шаги в этом направлении. Практика применения установок ВДЧ совместно с установками вдувания пылеугольного топлива свидетельствует о возможности получения в доменной печи (ДП) передельного чугуна с нерегламентируемым содержанием серы. Такой подход обеспечивает плавность хода работы ДП, экономию сырьевых и энергетических ресурсов, что обуславливает снижение себестоимости передельного чугуна на 50дол./т (по данным ПАО «АМК»), являющегося шихтой для выплавки стали в кислородном конвертере (КК). Отечественные производители используют несколько вариантов технологических схем производства стали. В случае отсутствия средств ВДЧ и ВОС производство стали обычного качества осуществляют по технологии: ДП – КК, что позволяет обеспечить конечное содержание серы на уровне 0,025-0,030%. Производство высококачественной стали предполагает применение современной технологической схемы: ДП – ВДЧ – КК – ВОС.

Внедрение технологий ВДЧ ведущими мировыми сталелитейными компаниями нацелено, прежде всего, на решение задачи производства высококачественных марок стали. Ввод же в эксплуатацию отечественными предприятиями установок ВДЧ может быть ориентирован, главным образом, на улучшение технико-экономических показателей работы печных агрегатов при одновременном снижении себестоимости чугуна и стали. Достижение качественно более высокого уровня стали зависит от наличия средств ВОС и воздействия на сталь в процессе ее разливки и затвердевания, приобретение и применение которых позволит, как сместить акценты в стратегии украинских металлургов в сторону выпуска продукции с высокой добавочной стоимостью, так и уйти с мирового рынка дешевого металлопроката общего назначения на рынок металла ответственного назначения, т.е. перейти от конкуренции по цене на продукцию к конкуренции по ее качественным показателям.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАКОНЕЧНИКА КИСНЕВОЇ ФУРМИ З ЦЕНТРАЛЬНИМ ПІДВЕДЕННЯМ ВОДИ

При вирішенні проблеми підвищення стійкості зварних наконечників кисневих фурм в умовах ПАО «Дніпровський металургійний комбінат» (ПАО ДМК) в роботі [1,2] була запропонована конструкція наконечника (рис. 1, а), в якій, для вирішення поставленої задачі, було зменшено відстань між верхньою та нижньою чашами. Завдяки цьому значно зросла швидкість охолоджуючої води, що дозволило підвищити стійкість наконечника.

До недоліків такого конструктивного рішення слід віднести те, що насадки з соплами Лавалю почали виступати за межі верхньої чаші в кисневопідвідний тракт, унаслідок чого не забезпечується плавний вхід кисню в сопла, відбувається зниження витрати кисню і далекодії кисневих струменів та зростання тривалості продувки. У даному випадку, щоб забезпечити належний режим продувки конвертерної ванни, необхідно зменшувати робочу висоту фурми над рівнем розплаву, а це негативно позначається на стійкості наконечників.

Для вирішення цієї проблеми пропонується наконечник фурми обладнати герметично з'єднаною з центральним і розділовим патрубками кришкою з отворами, в яких герметично закріплені верхні торці насадок з соплами Лавалю. Це забезпечить плавний вхід кисню в сопла Лавалю без зниження тиску і витрат останнього, зростання далекодії кисневих струменів і, відповідно, робочої висоти фурми під час продувки конвертерної ванни, що сприятиме підвищенню стійкості наконечників фурм (рис. 1,б).

Також відмітимо, що сталевий зовнішній патрубок головки фурми та соплові блоки в торці фурми з'єднані із мідною нижньою чашею наконечника за допомогою зовнішнього зварного шва. Через вплив агресивного високотемпературного середовища в робочій порожнині конвертеру зовнішній зварний шов розм'якшується і оплавляється, що знижує його міцність і може приводити до порушення герметичності, виходу фурми з роботи та виникнення аварійних ситуацій, а в найгіршому варіанті повний відрив нижньої чаші наконечника від зовнішнього з'єднувального патрубка.

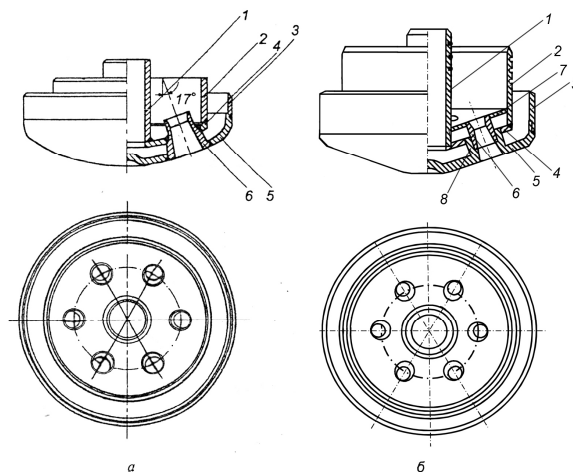


Рис. 1. Конструкція базового (а) та удосконаленого (б) шестисоплового наконечників верхньої кисневої фурми: 1 – центральний патрубок підводу води; 2 – розділовий патрубок підводу кисню; 3 – зовнішній патрубок відводу води; 4 – верхня чаша; 5 – нижня чаша наконечника; 6 – насадка із соплом Лаваля; 7 – кришка з отворами; 8 – гніздові отвори для розміщення насадок із соплами

Для усунення такого роду аварійних ситуацій пропонується зовнішній патрубок кисневої фурми закріпити з нижньою чашею наконечника за допомогою додаткового нарізного з'єднання. Це дозволить запобігти повному відриву нижньої чаші у випадку порушення герметичності зовнішнього зварного шву, забезпечити безпечні умови праці, так як вода в незначній кількості буде потрапляти в конвертер і встигатиме випаруватися без утворення вибухонебезпечної суміші, що виключатиме виникнення вибуху з викидом об'ємів металу і шлаку на робочу площадку, пошкодження екранних поверхонь газовідвідного тракту конвертера.

Для підвищення стійкості наконечників кисневих фурм у ще більшій мірі, також слід відмовитися від зварних швів на торцевій частині фурми. Це може бути здійснено за рахунок виготовлення та зборки наконечника фурми, яка передбачає закріплення окремих соплових блоків у спеціальних гніздових отворах, що виконані у нижній чаші наконечника (рис. 1, б). Завдяки такому технологічному прийому буде запобігатися вплив високотемпературної реакційної зони на зварні шви, що приводило раніше до передчасного виходу наконечника (рис. 1, а) з роботи.

Список літератури

1. Чернятевич А. Г. и др. / Усовершенствование конструкций верхних фурм для большегрузных конвертеров // Сталь. – 2000. – № 2. – С.14-16.

2. Пантейков С. П., Чернятевич А. Г. и др. / Повышение ресурсосберегающей эффективности при верхней продувке 250-тонной конвертерной ванны // Эко-технологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 4. – С.66-77.

УДК 669:18

А. Г. Чернятевич, А. С. Гриценко

Национальная металлургическая академия Украины

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДУТЬЕВОГО РЕЖИМА КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ

В условиях классической продувки конвертерной ванны кислородом с расходом ($Q_{O_2}^{\max}$) через фурму с дутьевого режима плавки являются: число сопел Лаваля (n , шт) в наконечнике и угол их наклона (α , град) к вертикали фурмы и в плане (φ , град) между осями соседних сопел; начальная ($H_{\phi}^{\text{нач}}$, м) и рабочая ($H_{\phi}^{\text{раб}}$, м) высоты расположения фурмы над уровнем ванны в спокойном состоянии. При этом, важно обеспечить спокойный ход продувки с отсутствием заметалливания ствола фурмы и горловины конвертера, а также оптимальные размеры ($D_{\text{общ}}$, L_{II}) образующейся высокотемпературной реакционной зоны (см. рисунок) с точки зрения предотвращения ускоренного локального износа футеровки стен и дна конвертера.

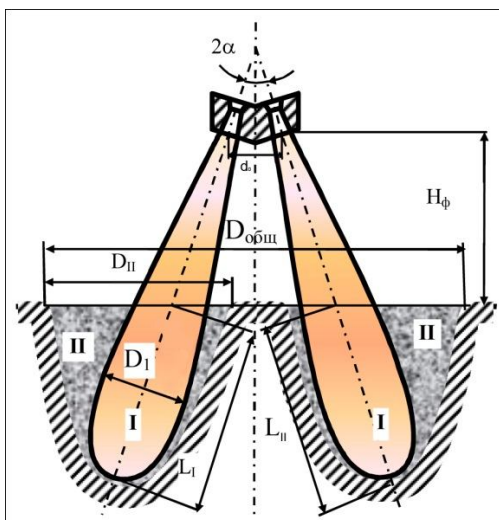


Рисунок – Схема реакционной зоны при продувке ванны кислородом сверху

Определение числа сопел Лаваля n ведется из расчета, что высота рабочего пространства конвертера от уровня спокойной ванны до горловины (H' , м)

при максимальном расходе кислорода $Q_{O_2}^{\max}$ будет обеспечивать предотвращение заметного выноса металлических капель из конвертера [1]:

$$n = Q_{O_2}^{\max} / (H/0,85)^{2,336}$$

Расчет сопел Лаваля осуществляется по стандартной методике [1].

Угол между осями сопел в плане определяется из условия разведения реакционных зон интенсивного выхода СО на поверхность ванны, что достигается при неслиянии границ соседних первичных реакционных зон максимального диаметра ($D_{I \max}$) [2]:

$$\varphi = 2 \arctg [D_{I \max} / 2 (H_{\phi}^{pab} + L_{I \min})]$$

Угол наклона сопел Лаваля к вертикальной оси фурмы находится из выражения [1]:

$$\alpha = \arcsin \left[\frac{\sin \varphi / 2}{\sin 180/n} \right]$$

Значения начальной и рабочей высот расположения фурмы над уровнем спокойной ванны при максимальном расходе кислорода определяются из уравнений [2,3]:

$$H_{\phi}^{\text{нач}} = 92,8 \cdot d_{\text{вых}} (I \cdot n / m \cdot g)^{0,097}; \quad H_{\phi}^{pab} = 37,2 \cdot d_{\text{вых}} (I \cdot n / m \cdot g)^{0,092}$$

Минимальная длина ($L_{I \min}$) и максимальный диаметр ($D_{I \max}$) струйного участка реакционной зоны определяется согласно выражений [2,3]

$$L_{I \min} (H_{\phi}^{pab} + L_{I \min})^2 = 75,1 \cdot I / \rho_m \cdot g; \quad D_{I \max} = 3,09 \cdot (I / \rho_m \cdot g \cdot L_{I \min})^{0,5}$$

Максимальная длина вторичной реакционной зоны ($L_{II \max}$) и

$$L_{II \max} = 12,7 \cdot H_{\phi} \cdot (I / \rho_m \cdot g \cdot H_{\phi}^3)^{0,584} \cdot \cos \alpha$$

общий диаметр реакционной зоны ($D_{\text{общ}}$) при продувке конвертерной ванны с начальным и рабочим расположением фурмы находим из выражения [2,3]:

$$D_{\text{общ}} = 11,3 \cdot H_{\phi} \cdot (I / \rho_m \cdot g \cdot H_{\phi}^3)^{0,65} \cdot (1 + L_{I \min} \cdot \tg \alpha) + d_0 + 2(H_{\phi} + L_{I \min}) \cdot \tg \alpha$$

В уравнениях: ρ_m – плотность жидкого металла, кг/м³; m – масса жидкого металла, кг; g – ускорение силы тяжести, кг/с²; I – импульс кислородной струи, кг·м/с²; H_{ϕ} – высота фурмы над уровнем металла, м; d_0 – диаметр расположения осей выходных сечений сопел Лаваля на торце наконечника, м.

Список литературы

1. Баптизманский В.И., Охотский В.Б. Физико-химические основы кислородно-конвертерного процесса. – Киев-Донецк: Вища школа, 1981. – 183 с.
2. А. Г. Чернятевич / Вопросы теории и практики повышения эффективности продувки конвертерной ванны // Сталь – 1993. – №6. – С.26-30.

3. А. Г. Чернятевич, Е. В. Протопопов / Разработка наконечников двухконтурных фурм для кислородных конвертеров // Изв. ВУЗов. Чер. мет. – 1995. – №12. – С.13-17.

УДК: 669.715:666.7

А. М. Верховлюк, А.А. Безпалый, Ю. М. Левченко, О.В. Желєзняк

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів
НАН України, м. Київ,
тел.: (044)424-10-65, mail: levchenkoyleia@mail.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЖФАЗНОЇ ВЗАЄМОДІЇ РОЗПЛАВІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ З ВОГNETРИВКИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Виливки з алюмінієвих сплавів знаходять все більше використання в різних галузях промисловості. При цьому основна доля алюмінієвого литва припадає на ливарні та деформовані сплави, що мають високі механічні, експлуатаційні та ливарні властивості. Технологічний та споживчий потенціал даних сплавів можна підвищити за рахунок розробки нових технологічних процесів. На сьогоднішній день, для підвищення властивостей сплавів використовують різні методи обробки: модифікування, флюсове та фільтраційне рафінування, продувка газами. При цьому модифікування розплавів має найбільший потенціал підвищення їх функціональних властивостей.

Для підвищення якості литого металу запропоновано спеціальні модифікатори на основі нанокристалічних та дрібнокристалічних металічних матеріалів. При їх введенні в розплав, вони рівномірно розподіляються в об'ємі металу і виступають в якості гетерогенних зародків для утворення кристалічної фази, тобто центрів кристалізації.

Однією з умов отримання модифікаторів в дрібнокристалічному та наноструктурному стані, є однорідність вихідного розплаву. В процесі їх отримання виникають ускладнення щодо вибору вогнетриву для плавильного вузла, тому що в якості модифікаторів часто використовуються сплави, що вміщують хімічно-активні елементи. В зв'язку з цим було досліджено міжфазну взаємодію в системах вогнетрив – розплав системи (47% Al - 40% Cu - 13% Zr та 47% Al - 40% Cu - 10% Zr - 3% Ni).

Дослідження проводили методом лежачої краплі в інтервалі температур від 1333 К до 1523 К у вакуумі ($P=1,0 \cdot 10^{-2}$ Па). В якості підложок використовували електродний графіт, дрібнозернистий графіт, дрібнозернистий щільний графіт, пірографіт та алунд. Експерименти показали, що контактний кут змочування для всіх систем має значення менше 90 град. при температурі 1453 К, що характеризує початок взаємодії в даній системі. Винятком є система 47% Al - 40% Cu - 13% Zr – дрібнозернистий щільний графіт, де контактний кут змочування вище 90 град. і становить 140 град. Підложки, виготовлені з цього матеріалу починають змочуватись приблизно при температурі 1500К.

Аналогічні результати було отримано при дослідженні міжфазної взаємодії в системі 47% Al - 40% Cu - 10% Zr - 3% Ni - алунд. Рідкий розплав починає розтікатися по поверхні алундової підложки при температурах, вищих за 1453 К. Отримані дані дозволили вибрати матеріали для футерівки, яка інертна по відношенню до цих сплавів в заданих температурних режимах плавки.

УДК: 621.762:669.715

Ю. Н. Левченко, А. В. Железняк, Л. Д. Таранухина

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів

НАН України, м. Київ,

тел.: (044)424-10-65, mail: levchenkoylia@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ЛИГАТУР

Существует научный и практический интерес к мелкокристаллическим и кристаллическим лигатурам, в состав которых входят элементы, а именно: титан, бор, скандий, цирконий, никель, хром. Переходные и редкоземельные элементы взаимодействуют с расплавами алюминия и образуют тугоплавкие соединения, которые являются центрами кристаллизации при затвердевании. Одним из способов получения лигатур, содержащих интерметаллиды системы Al-Me₁ и Al-Me₂, (Me₁ – переходные металлы и Me₂ – редкоземельные металлы) есть метод получения их в виде порошков.

В связи с этим, была изготовлена установка, которая основана на получении порошков методом раздува инертным газом. Устройство предусматривает все технологические операции от плавки металла до его раздува. Она состоит из трех основных элементов: плавильный узел, приспособление для разду-

ва и камера осаждения. Плавильный узел представляет собой герметичную стальную водоохлаждаемую камеру, в которой расположена печь сопротивления, оборудованная механизмом поворота и переливочным устройством (резервуар для разлива). Такая конструкция позволяет избежать зашлаковывания выпускного отверстия головки раздува и загрязнения сплава неметаллическими включениями, так как при переливании расплава из печи в резервуар для разлива, имеющиеся на межфазной границе оксидные пленки будут разрушаться, и всплывать на поверхность. Камера раздува предназначена для распыления расплава. В ней располагается форсунка, при этом предусмотрено использование форсунок различной конструкции. Камера осаждения представляет собой резервуар, изготовленный из нержавеющей стали внутренние поверхности, которого охлаждаются азотом.

Основным направлением применения таких порошков является модифицирование металлических расплавов. Их действие обусловлено внесением в расплав дисперсных интерметаллидных соединений, размеры которых не превышают 100 нм. Они равномерно распределяются в объеме расплава и играют роль центров кристаллизации.

УДК 669.715:621.74.043:620.178.15

Н. И. Тарасевич, И. В. Корниец, А. И. Рыбицкий, О. О. Токарева

Физико-технологический институт металлов и сплавов
НАН Украины, Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СЛИТКОВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ПОЛУЧАЕМОГО В ТОНКОСТЕННОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ КОКИЛЕ

На базе вычислительного эксперимента с применением методов математического и статистического моделирования проведен анализ термовременных характеристик (локальная скорость охлаждения, температурный напор, кинетика снятия температуры перегрева и др.), сопровождающих переход металла из жидкого состояния в твердо-жидкое и их влияние на структуру отливок из алюминиевого сплава.

В качестве объекта исследования выбрана цилиндрическая отливка сплава АК7 диаметром 20 мм, получаемая в тонкостенном металлическом кокиле толщиной 2 мм. Температура заливки жидкого металла изменялась от 620 до 950 °С, а температура кокиля - от 20 до 580 °С.

Проведенные исследования показали, что изменение локального температурного напора на фронте ликвидус (разность температур в центре и ликвидуса) по толщине отливки при различных условиях разливки позволяет прогнозировать характер структуры, получаемого слитка. Так при изменении начальной температуры расплава от 620 до 750 °С на соответствующих кривых (рис.1, а) можно выделить три характерные области, которым в дальнейшем будет соответствовать определенная структура отливки.

Первая – постоянное значение температурного напора у пристеночной области. Его наличие свидетельствует о том, что охлаждение отливки сопровождается постоянной подпиткой зоны затвердевания от перегретого металла из центральных областей, что обеспечивает мелкодисперсную структуру. Протяженность этой зоны вглубь отливки определяется соотношением начальных температур металла и кокиля.

Для второй области характерно резкое снижение температурного напора от максимального значения (величина перегрева жидкого металла) до значения близкого к нулю. В этой области можно ожидать наличие как столбчатых, так и разориентированных дендритов. Ее размер изменяется от 3,5 до 5,3 мм.

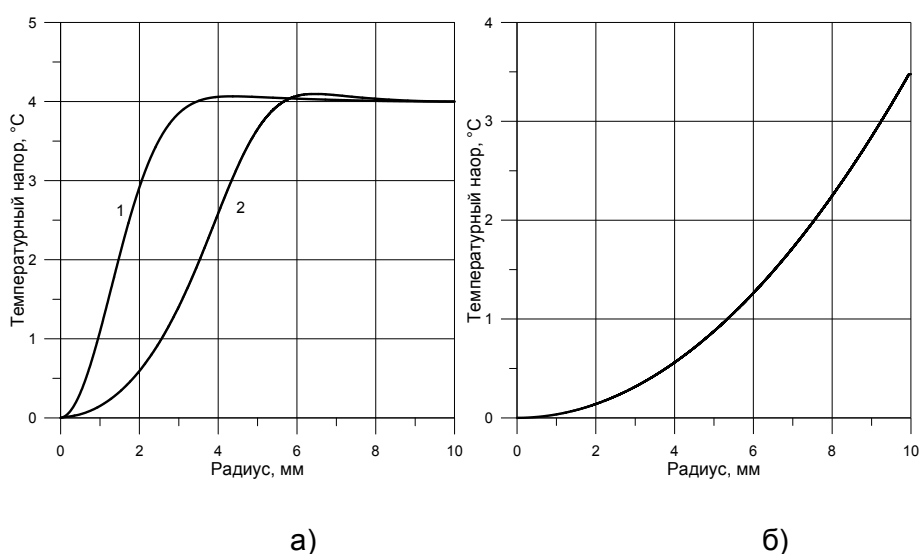


Рисунок 1 – Изменение температурного напора на фронте ликвидус при охлаждении отливки в кокиле толщиной от 2 мм при начальной температуре расплава 620 °С (а) и 920 °С (б). Начальная температура кокиля, °С: 1 – 20, 2 – 580.

Третья область - последние объемы перегретого металла, размером 0,2 – 1 мм. Для этой зоны в дальнейшем будет характерно объемное затвердевание.

Следует отметить также, что такой характер температурного напора будет характерен для условий разливки, при которых перегрев с боковой поверхности отливки снимается практически мгновенно

Обработка результатов вычислительного эксперимента методами регрессионного анализа позволила получить зависимость размера области мелко-дисперсной структуры (d , мм) от начальной температуры кокиля (T_K , °C) при фиксированной температуре металла:

$T_M=620^\circ\text{C}$ –

$$d = 3.59789 - 0.000110351 \cdot T_K - 0.00000451503 \cdot T_K^2, R^2 = 99.4366 \quad (1)$$

$T_M=660^\circ\text{C}$ –

$$d = 1.99522 + 0.00071138 \cdot T_K - 0.00000674992 \cdot T_K^2, R^2 = 97.9323 \quad (2)$$

$T_M=750^\circ\text{C}$ –

$$d = 1.33232 - 0.00116956 \cdot T_K - 0.00000346967 \cdot T_K^2, R^2 = 99.2295, \quad (3)$$

где R – коэффициент корреляции.

Дальнейшее повышение начальной температуры расплава – до 920°C (рис.1,б) приводит к более позднему снятию температуры перегрева с боковой поверхности отливки и, как следствие, к продвижению изотермы ликвидус с постоянной скоростью, что обуславливает формирование дендритной структуры. При этом характер изменения температурного напора и его максимальное значение не зависит от условий разливки и может быть описано выражением вида:

$$T_{\text{напор}} = 0,00048 - 0,0004632 \cdot r + 0,035129 \cdot r^2 + 0,0000025596 \cdot r^3, \quad (4)$$

где r – радиус отливки ($r \in [0,2; 1]$, мм).

Полученные зависимости могут быть использованы для прогнозирования размера структурных зон отливок из алюминиевых сплавов.

(¹Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев;

²Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКОГО ЧУГУНА

Одним из наиболее распространенных конструкционных материалов для широкой номенклатуры литых изделий сегодня по-прежнему остается чугун. Доля отливок из чугуна в мировом производстве литых изделий составляет около 75% и дальше продолжает увеличиваться.

Широкое применение данного конструкционного материала по сравнению с другими сплавами обусловлено наиболее благоприятным сочетанием его литейных, технологических, механических и эксплуатационных свойств. Кроме того, чугун является доступным, недефицитным и сравнительно дешевым материалом, а его использование для изготовления отливок позволяет уменьшить припуски на механическую обработку и увеличить технологический выход годного литья.

Однако, для сохранения своих лидирующих позиций среди литых сплавов и в дальнейшем, с учетом все возрастающих требований, которые выдвигает промышленность к качеству и свойствам металлических деталей и заготовок, требуется разработка новых, более эффективных, или дальнейшее совершенствование существующих технологий для изготовления чугунных отливок с более высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Известно, что одним из направлений улучшения механических и эксплуатационных свойств чугунных отливок является модифицирующая обработка расплава. Из разработанных способов модифицирования в настоящее время в промышленности широкое применение находят методы внепечной ковшевой и внутриформенной обработки расплавов. Однако, несмотря на свою эффективность, эти процессы модифицирующей обработки являются весьма чувствительными к условиям литья, что требует тщательной отработки или корректировки технологического процесса при переходе от отливок одного типа к конкретным отливкам других типов.

В представленной работе приводятся результаты сравнительных исследований ковшевой и предложенных новых технологий внутриформенной обра-

ботки жидкого чугуна графитизирующими (ФС75, СБ-5, СК-20), карбидостабилизирующими (НМг15, НМг19, ФХ200, ФХ900, ФМн78, Ви1, Мишметалл (РЗМ)) и сфероидизирующими (ФСМг7, ФСМг9, VL63(M), НМг15+ФС75, НМг19+ФС75, Мишметалл (РЗМ)+ФС75, МПФ1+ФС75) добавками, а также встречного модифицирования расплава разными по функциональному назначению и механизму воздействия на расплав добавками.

Выявлены основные закономерности внутриформенной обработки при использовании расплавов чугунов доэвтектического, эвтектического и заэвтектического составов и определены оптимальные количества и гранулометрические характеристики указанных добавок. Установлены температурные режимы и основные параметры обработки и литья, разработаны рекомендации, обеспечивающие получение отливок с заданной структурой и комплексом эксплуатационных свойств.

Внедрение предложенных технологий позволит экономить модифицирующие и легирующие добавки, увеличить эффективность получения чугунных отливок с повышенными эксплуатационными характеристиками, исключить необходимость установки в цехах дополнительного оборудования, упростить и удешевить процесс получения отливок, а также улучшить условия труда и экологическую обстановку в цехе.

Научное издание

ЛИТЬЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ. 2013

**Материалы
IX МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

Подп. к печати 25.04.13 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Riso-печать. Гарнитура Таймс. Ум. печать. стр. 18,94

Тираж 300 экз. Зам № 128.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ЛИТЬЕ 2013

21 - 23 мая 2013 года
УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ

II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ 2013